



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Titulació:

Grau en enginyeria electrònica industrial i automàtica

Alumne:

Joan Fluvià Marin

Enunciat TFG (o TFM):

**Projecte d'industrialització d'un Data Logger
(Memòria)**

Director del TFG (o TFM): Raul Fernàndez

Convocatòria de Lliurament: 10 de Juny del 2019

Abstract

This project intends to collect all the procedures and concepts required from the own idea of a product, the consolidation of a product and its large-scale production. The product chosen is a Datalogger of temperature, atmospheric pressure and relative humidity, it will work on the chip ATmega328 from the famous ArduinoUno, keeping all the data locally in a SD card. A prototype has been developed to verify its functioning. Afterwards, the components were optimized and a specific PCB was designed for the product, besides designing the case for the prototype to give it a better appearance and consistency. Finally, a non-binding calculation was made to budget how much would it cost the large-scale production of the product.

Resum

Aquest projecte intenta ser un recull de tots els procediments i conceptes necessaris des de la idea d'un producte, a la consolidació del mateix i la producció a gran escala. S'ha triat com a producte un Datalogger de temperatura, pressió atmosfèrica i humitat relativa que treballarà sobre el chip Atmega328 del famós ArduinoUno, guardant totes les dades de forma local sobre una targeta SD. S'ha desenvolupat un prototip inicial per a verificar el seu funcionament. Posteriorment s'han optimitzat els components i s'ha dissenyat una PCB específica per al producte. A més de dissenyar una carcassa per al prototip i així donar-li una millor aparença i consistència. Finalment s'ha realitzat un càlcul no vinculant de quan costaria la producció a gran escala del producte.

Agraïments

Primerament a me mare, principal finançadora de tot el projecte, a demés de tot el suport i ànims donats aquests mesos, igual que a la Mireia, que s'ha preocupat de ferma companyia quan m'entraven hàbits anti-socials deguts al estrès.

Agrair també al meu director de projecte, Raúl Fernández, per tal com m'ha portat el treball. Si més m'ha donat total llibertat d'acció sobre com desenvolupar-lo, si els seus consells han sigut essencials per a la bona conducció del mateix.

Agrair finalment a Marco Alarcón, un gran amic de me mare, qui m'ha ensenyat tots els temes fonamentals per a la impressió 3D.

Índex

1. Introducció.....	11
1.1. Objectius i abast.....	12
1.2. Motivacions	12
1.3. Requeriments i limitacions.....	13
2. Estat de l'Art.....	15
2.1. Propostes actuals.....	15
3. Materials utilitzats	19
3.1. Material utilitzat en el prototip datalogger sobre la plataforma arduino.....	19
3.2. Material utilitzat en el disseny i producció del datalogger.....	26
4. Desenvolupament del Prototip de Datalogger sobre la plataforma Arduino	31
4.1. Metodologia de desenvolupament.....	31
4.2. Probes inicials del prototip datalogger basat en arduino	39
5. Desenvolupament de la industrialització del datalogger.....	41
5.1. Disseny del prototip de la placa	41
5.2. Fabricació del prototip final	58
6. Resultats	65
6.1. Probes de inicials	65
6.2. Probes de precisió i fidelitat.....	66
6.3. Probes d'alta duració.....	67
7. Procés d'industrialització del datalogger.....	69
8. Planificació	71
9. Conclusions.....	73
9.1. Valoracions personals	73
9.2. Conclusions tècniques.....	73
9.3. Treballs futurs.....	74
10. Referències bibliogràfiques	75

Llista de Figures

Fig 1. tzedigital datalogger [1]	15
Fig 2. PCE-HT71N [2]	16
Fig 3. Log100 [3]	16
Fig 4. Wifi-Testo saveris 2-T1 [4].....	17
Fig 5. Arduino Uno	19
Fig 6. Datalogger Shield [6]	21
Fig 7. Prototype Shield	21
Fig 8. BME280 [7]	22
Fig 9. Convertidor DC-DC Step-Up [8].....	22
Fig 10. Carregador de bateries de liti [9].....	23
Fig 11. Bateria de liti.....	23
Fig 12. Gràfica descarrega bateries LiPo [10].....	23
Fig 13. IDE Arduino	25
Fig 14. Bateria 18650, 3.7V, 2400mAh.....	27
Fig 15. EAGLE Control panel	27
Fig 16. Eagle Schematic	28
Fig 17. EAGLE Board.....	28
Fig 18. Connexió gràfica Arduino control.....	33
Fig 19. Connexió esquemàtica Arduino control	33
Fig 20. Connexió gràfica Arduino potencia	35
Fig 21. Connexió esquemàtica Arduino potencia.....	35
Fig 22. Diagrama flux del programa	37
Fig 23. Shields amb mòduls soldats	38
Fig 24. Prototip datalogger basat en arduino.....	39
Fig 25. Probes al exterior sobre prototip inicial	40

Fig 26. Estació meteorològica El Prat de Llobregat [XL] 11.5.2019 [11]	40
Fig 27. esquematic ArduinoUno [5]	41
Fig 28. esquematic DataloggerShield [6].....	42
Fig 29. TP4056 [12].....	43
Fig 30. DW01A [13].....	43
Fig 31. LTC3426 [14].....	44
Fig 32. esquematic modul BME280 [7]	44
Fig 33. esquema Atmel328P	47
Fig 34. esquema BME280, SD i RTC	48
Fig 35. Carregador i convertidor d'entrada	49
Fig 36. Hardware addicional.....	50
Fig 37. Dimensions arduino mega 2560 [22]	51
Fig 38. Situació components	52
Fig 39. Routejat pistes.....	54
Fig 40. PCB datalogger 3D.....	56
Fig 41. Carcasa ArduinoMega.....	56
Fig 42. Disseny inferior carcassa.....	57
Fig 43. Disseny superior carcassa.....	57
Fig 44. Carcassa completa.....	58
Fig 45. PCB.....	59
Fig 46. Components Mouser	59
Fig 47. Datalogger muntat.....	60
Fig 48. Connexió per a gravar bootloader	61
Fig 49. Connexió calibració RTC.....	62
Fig 50. Codi per calibrar RTC.....	63
Fig 51. Carcassa impresa	63
Fig 52. Cambra climatica.....	66
Fig 53. Resposta de datalogger en cambra climàtica	67
Fig 54. Proba 48h.....	67

Llista de Taules

Taula 1. ATmega328P [5].....	20
Taula 2. Components del prototip final	46
Taula 3. Fitxers Gerber	54
Taula 4. Llegendes Planificació.....	71
Taula 5. Calendari de planificació.....	72

1. Introducció

En els últims temps, l'avenç de la tecnologia i la comunicació han permès una millor relació contractual entre diferents regions i països, augmentant així, el ritme d'exportacions e importacions dels mateixos.

Tots sabem la majoria d'avantatges que ens ha proporcionat aquest comerç, però entre les seves mancances està el problema de que productes de dubtosa qualitat o en mal estat produïts per una sola empresa, puguin ser repartits arreu del món. Es poden crear així plagues o contaminacions a nivell mundial, molt perilloses a més si parlem d'aliments.

La solució a aquest problema, la trobem en la "traçabilitat". Un concepte que es podria definir com "el registre d'empremtes que deixa o es marca en un producte des de la seva fabricació fins arribar al consumidor final". Aquest normalment inclou com i on s'ha fabricat el producte, en quines condicions ha estat conservat, la localització i els mètodes de transport del mateix i quina ha sigut la seva destinació final.

Per posar un exemple de la seva importància, podem referir-nos al cas d'un parell d'anys enrera (2011) amb la mort de tres ciutadans alemanys a causa de la bactèria Ecolí i la consegüent i coneguda popularment com a "crisi del pepinillo". A la fi, gràcies a la traçabilitat que incorporaven els cogombres espanyols, es van poder descartar aquestes acusacions inicials.

Dins de la traçabilitat, es on es pot trobar la importància (entre d'altres) del data Logger. Es aquest un dispositiu capaç de recopilar dades de factors externs; ja siguin sensors principalment, geo-localització o altres paràmetres d'importància i guardar-los en un registre per a poder veure i demostrar les bones condicions de trasllat, per exemple, d'un producte.

En aquest treball s'intenta plasmar el procés necessari per al disseny d'un datalogger i la seva posterior industrialització.

El datalogger proposat es un sistema portàtil, autònom i discret, que permet la captura de la temperatura ambient, la pressió i la humitat relativa. Està pensat principalment per el control del transport d'aliments dins del territori Europeu. Per exemple la fruita, on el temps de transport, humitat i temperatura de conservació son més que essencials per a mantenir la seva qualitat, no obstant la seva autonomia no ha de ser excessivament elevada.

La implementació del mateix, està estructurada en dues fases ben diferenciades.

Aproximació a la solució creant un prototip funcional basat en la plataforma *opensource* Arduino, els *shields* (plaques d'expansió adaptades) corresponents i els sensors externs i/o components necessaris.

Disseny del producte final, partint de les conclusions extretes del apartat anterior. Aquesta versió està dissenyada ja directament sobre un circuit imprès i sols amb els elements imprescindibles per al funcionament del mateix. Aquest disseny esta en format *GERBER* i ja preparat per a que qualsevol empresa especialitzada en la impressió i muntatge de plaques impreses, pugui fabricar-lo de forma automàtica.

1.1. Objectius i abast

L'objectiu final d'aquest projecte es el disseny d'un prototip de datalogger industrialitzat i preparat per a la seva fabricació.

Aquest objectiu inclou fer un prototip inicial, basat en la plataforma Arduino, shields, sensors, actuadors e indicadors compatibles i la programació del mateix.

Elecció dels components adequats per al disseny del producte final, buscant una bona eficiència de l'equip.

Disseny esquemàtic del prototip final en una PCB (Printed Circuit Board) i routejat de les pistes del mateix. Generant posteriorment els *Gerbers*

Impressió de la placa i muntatge dels components necessaris

El treball conclou amb les proves adients sobre el producte final i el pressupost de la fabricació a gran escala del mateix.

*Gerber es el format d'arxiu, en el que moltes empreses especialitzades en la impressió i muntatge de PCB es basen per a la fabricació automatitzada de les peces.

1.2. Motivacions

Han sigut varis els motius per a triar aquest tema per al TFG, el més destacable, era la intenció de realitzar algo tangible. Un projecte més que un estudi.

També estaven entre altres, l'entusiasme per treballar amb Arduino, una plataforma ja coneguda per a l'estudiant, però amb molta versatilitat i un munt de coses per a descobrir. A més de treballar el tema de l'autonomia.

La proposta del treball també inclou el disseny i routejat del sistema sobre PCB (industrialització del equip). Encara que aquesta ultima part, en un principi no estigues entre les motivacions principals d'aprenentatge, si es creu que pot ser un bon impuls de cara a fer el pas cap al mon laboral un cop finalitzada la carrera.

1.3. Requeriments i limitacions

La idea inicial del datalogger, com s'ha indicat a la introducció, es definir una traçabilitat en productes alimentaris quan siguin transportats dins d'Europa. Aquesta condició, requereix que el prototip tingui una capacitat d'autonomia lo suficient ampla per a la recoll·lecció de les dades durant tot aquest temps.

S'ha considerat que per a acomplir aquesta condició, la duració del datalogger haurà de ser aproximadament d'una setmana (168 hores). Així com una capacitat de memòria que permeti l'emmagatzemament de totes les dades registrades fins llavors.

El software al ser *embeded* no té possibilitats de connexió externa Per el que haurà de constar amb un auto-testeig d'errors i la capacitat de mostrar-los mitjançant un codi d'errors visual.

Al ser un sistema autònom connectat a bateries, ha de constar d'algun sistema de monitorització de l'estat de la bateria, així com un sistema de protecció per a evitar una descarrega excessiva de la mateixa que la pogués inutilitzar.

El prototip ha de ser capaç de resistir condicions adverses, que no extremes. Degut a que la seva finalitat es l'acompanyament de tot tipus de productes durant el seu transport.

2. Estat de l'Art

2.1. Propostes actuals

El concepte datalogger no es pot dir que sigui excessivament innovador. Son coneguts des de fa temps dins de la indústria, però a la vegada son objecte d'evolució constant i estretament lligats a la avantguarda tecnològica.

Des dels antics que dibuixaven gràfiques en paper, com els sismògraf que veiem a les pel·lícules, als més actuals amb tecnologia IoT que guarden les dades al núvol de forma automàtica. Passant per els més usats actualment, que contenen una memòria interna on guardar les dades.

L'ús del datalogger es molt ampli: Transport de mercaderies on la seva conservació es crítica, per exemple, aliments, productes químics o inclús material biològic. Processos industrials de producció, o el emmagatzemament de productes.

Més ampli es, si pot ser, el rang de variables que son capaços de capturar. Des de les mesures ambientals, com son els més comuns, a GEO localització, acceleració i xocs, tensió e intensitat, etc. Degut a aquesta amplia varietat mencionada, es centrarà l'anàlisi en l'àmbit d'aplicació d'aquest projecte, els Dataloggers d'adquisició de mesures mediambientals tal com la temperatura i la humitat relativa. Si més no, tot l'anàlisi següentment desenvolupat es possiblement molt similar al que es trobaria si es fes en qualsevol altre dels camps d'aplicació dels dataloggers.

2.1.1. Single-use PDF Temp Data Logger de tzonedigital

Es un datalogger d'un sol ús, la gamma més baixa que es pot trobar. Tot i així, compleix amb la normativa EN12830 d'àmbit europeu per als dataloggers. Té una vida útil de 2 anys i un màxim de 60 dies de memòria, a 1 mostra cada 10min (es poden demanar altres especificacions a la compra). No ho especifica explícitament, però permet el recompte de 8640 mostres, de sols un valor.

El rang de temperatures capaç de registrar va des dels -30°C als 60°C , amb alarma si es desvia del rang de 2°C a 8°C .

Té una connexió USB, que permet crear un arxiu PDF al ordinador amb tots els valors registrats fins al moment, i compleix la normativa IP67 (submergible), però especificant que això es compleix si està dins d'una bossa estanca.

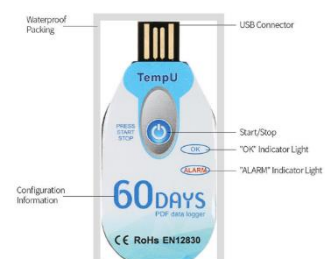


Fig 1. tzonedigital datalogger [1]

2.1.2. Registrador de dades PCE-HT71N

Aquest model es capaç de emmagatzemar 32.000 valors, però s'ha de tindre en compte que registra dos valors en cada mostra, per el que realment permet 16.000 mostres.

Permet ajustar el sample-time, de 2s a 24h i el rang d'alarma des del seu software, el qual també permet fer anàlisis sobre les dades registrades.

Funciona amb una pila de 3.6V substituïble i compta amb leds de monitorització. La comunicació i transferència de dades es realitza a través del connector USB.



Fig 2. PCE-HT71N [2]

L'abast del projecte vindria a esdevenir la creació i industrialització d'un datalogger dins d'aquesta gamma. No en cap cas el model mostrat, però sí d'especificacions similars.

2.1.3. Data Logger Log100

El Log100 es ja un salt bastant gran respecte models anteriors. Disposa d'una pantalla per visualitzar els valors actuals, així com permetre la programació del mateix (temps de mostreig o rang d'alarma) sens software extern. Permet també la connexió d'una sonda externa per a la mesura de valors.

Compta amb una memòria de 60.000 valors, que es tradueix a un màxim de 30.000 mostres i està alimentat per una bateria, amb connexió a PC a través de USB. El seu rang de funcionament es de -30°C a 70°C i de 0% a 99% d'humitat relativa.



Fig 3. Log100 [3]

Un dels majors atractius d'aquesta gamma de dataloggers, es la possibilitat de transmetre les dades en temps real al ordinador, ampliant així la seva funció. Passant de ser sols un datalogger, a també ser part del sistema de control per a la regulació dels valors registrats.

2.1.4. Wifi-Testo saveris 2-T1

Aquest datalogger funciona amb piles estàndard AA i permet emmagatzemar fins a 10.000 valors per canal. Permet la programació del sample-rate de 1min fins a 24h amb un rang de temperatura de -30°C a 50°C, a demes, al igual que el primer model mostrat, compleix la normativa EN12830.

L'atractiu d'aquest model, junt amb la gamma en la que es mou, es la capacitat de connexió i transmissió de dades per internet. Podent ser accessibles per a diferents usuaris a la vegada sense necessitat de cap acció sobre el dispositiu.

Al igual que la gamma anterior, aquesta gamma pot transmetre les dades en temps real, convertint-los en dispositius per als sistemes de control de les condicions ambientals.



Fig 4. Wifi-Testo saveris 2-T1 [4]

3. Materials utilitzats

Com s'ha comentat a la introducció, el treball consta de dues parts ben diferenciades, òbviament, el material fet servir en elles també ho serà. A continuació es mostra una llista dels mòduls, components i materials i software utilitzats en el projecte en funció de en quina part del projecte hagin sigut utilitzats.

3.1. Material utilitzat en el prototip datalogger sobre la plataforma arduino

3.1.1. Hardware

3.1.1.1. Arduino Uno.

L'Arduino (mostrat en la Fig 5) es el cor del prototip inicial a desenvolupar. Es l'encarregat de gestionar els perifèrics connectats al mateix, com demanar les dades als sensors i escriure'ls a la targeta SD. A demés permet una fàcil comunicació entre el processador ATmega328P i l'ordinador a través d'un altre processador (ATmega16U2), el qual es seu únic objectiu, es fer la conversió de dades USB-to-UART i a la inversa. Incorpora elements auxiliars de protecció per al processador i facilita la connexió amb perifèrics i/o elements auxiliars.

El processador ATmega328P incorporat, es un microprocessador de 8-bits molt complet. Compta amb conversors digital-to-analog, permet interrupcions internes i externes, comunicacions via UART, SPI, I2C. Diversos rellotges interns, etc.

A demés, aquest microprocessador incorpora ja instal·lat un bootloader, que permet la programació del microprocessador a través del protocol UART amb l'IDE d'Arduino.

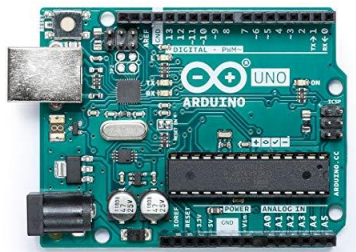


Fig 5. Arduino Uno

En la **Taula 1**. ATmega328P, es mostren algunes de les característiques més importants de l'Arduino.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (Recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20mA
DC Current for 3.3V I/O Pin	50mA
Flash Memory	32Kb (ATmega328P) of which 0.5kB used by bootloader
SRAM	2kB (ATmega328P)
EEPROM	1kB (ATmega328P)
Clock Speed	16MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6mm
Width	53.4mm
Weight	25g

Taula 1. ATmega328P [5]

3.1.1.2. Datalogger Shield

El Datalogger Shield (mostrat a la Fig 6) es específic per a Arduino, permet afegir una sèrie de perifèrics de forma molt senzilla i “neta”. A demés, incorpora un petit espai per a connectar altres perifèrics mitjançant soldadura.

Compta amb un socket per a targetes SD, connectat a través d’un “level-shifter” 5v-to-3.3v a les entrades SPI de la placa Arduino. El fet de fer servir la comunicació SPI, “inutilitza” els pins 10,11,12 i 13 de la placa Arduino per a propòsits generals.

Incorpora un rellotge de temps real *DS1307Z* connectat a través del protocol I2C. Aquest rellotge té l’adreça 0x68 dins del protocol I2C i no es modificable. El rellotge compta amb un cristall de ressonància propi i una pila a mode de bateria, per a comptabilitzar el temps encara que no estigui connectat a Arduino o aquest estigui desconnectat.

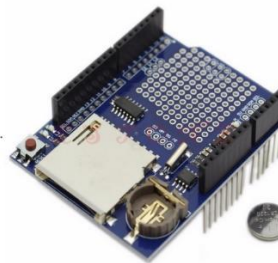


Fig 6. Datalogger Shield [6]

3.1.1.3. Prototype Shield

El prototype Shield es un mòdul d’expansió d’Arduino semblant al anterior, però força més basic. Aquest incorpora tota la zona central del mateix per a realitzar connexions soldades.

Moltes vegades, quan s’experimenta amb Arduino, s’usen Breadboards. Unes plaques de connexió rapida per a la connexió d’Arduino amb els perifèrics o components passius. Aquestes connexions son molt dèbils i es arriscat el transport del mateix per possibles desconexions.

El prototype Shield intenta donar una solució a aquest problema. Un cop s’ha assegurat el bon funcionament del projecte sobre breadboard, es poden soldar d’una forma fàcil els components al Shield i assegurar així una connexió segura i eficaç. A demés, visualment es més elegant.

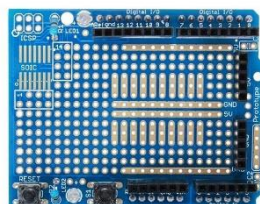


Fig 7. Prototype Shield

3.1.1.4. BME280

El BME280 es un sensor fabricat per BOSH extremadament petit, capaç de capturar mesures ambientals tals com la temperatura, la pressió atmosfèrica i la humitat relativa. Permet una comunicació per els protocols SPI e I2C i la possibilitat de canviar l'adreça del protocol I2C modificant l'estat lògic d'un dels seus pins.

El mòdul adquirit, vist en la **Fig 8**, està muntat sobre una placa d'acondicionament, que si bé, impossibilita la connexió per el protocol SPI, facilita la connexió del mateix sobre una breadboard. Aquesta placa incorpora level-shifters per a la conversió de voltatges de 5V a 3.3V (valor al que treballa el sensor), a demés d'uns pads que permeten seleccionar l'adreça I2C del sensor amb sols un punt de soldadura. Com en el cas anterior, al usar un protocol de comunicació, aquest inutilitza els pins A0 i A1 d'Arduino per als propòsits generals mentre es mantingui aquesta comunicació.



Fig 8. BME280 [7]

3.1.1.5. Convertidor DC-DC Step-Up 0.9 to 5V.

El mòdul de la **Fig 9** es un convertidor genèric DC to DC Step-Up, un element capaç d'entregar una tensió regulada a 5V, amb una entrada variable d'entre 0.9V i 5V. Per a les necessitats del projecte, es un rang suficientment ampli.

El convertidor utilitzat es genèric, per el que no s'han trobat especificacions sobre el microxip que implementa ni altres components, sols les característiques de funcionament del mateix.



Fig 9. Convertidor DC-DC Step-Up [8]

3.1.1.6. Carregador per a bateries de liti

El mòdul de la **Fig 10**. Carregador de bateries de liti es un carregador genèric per a bateries de liti d'una sola cel·la (3.7V). Al ser genèric, igual que en el cas anterior, no es proporciona informació sobre els components interns del mateix. Si en canvi, les característiques de funcionament i un esquema simple del connexionat del mateix.

Vin de 5V, subministrat per connector Micro-USB, carrega de bateria fins a 4.2V, amb protecció de sobrecarrega i protecció de descarrega per sota dels 2.5V. I_{max} de 1A.



Fig 10. Carregador de bateries de liti [9]

3.1.1.7. Bateria de liti

Bateria de liti d'una cel·la de 3.7V i 650mAh. Es dona per suposat que aquesta bateria no serà capaç de complir les especificacions marcades en l'apartat 1, però al igual que el prototip en sí, la seva funció es sols demostrar les capacitats de funcionament abans d'avançar cap a la industrialització.

Es creu convenient mencionar també la resposta de descarrega d'aquests tipus de bateries, ja que no compleixen cap linealitat, sent els valors de voltatge-carrega força peculiars. En la

Fig 12 es mostra la grafica amb la relació voltatge-carrega. Es veu que la carrega màxima es a 4.2V, mantenint un rang força lineal en relació a la carrega fins arribar als 3.5V, on ja sense carrega, el voltatge cau en picat.



Fig 11. Bateria de liti

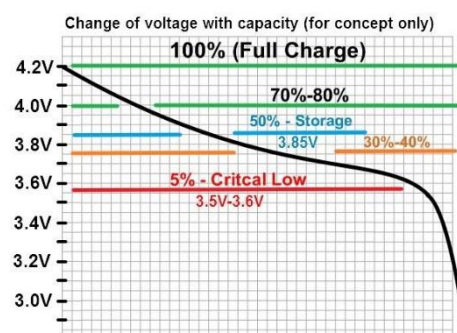


Fig 12. Gràfica descarrega bateries LiPo [10]

3.1.1.8. Polsadors i interruptors

Els interruptors i polsadors son elements passius necessaris dins el prototip per al control del mateix. Els seus requeriments elèctrics son quasi fútils, ja que en el cas dels polsadors sols controlen senyals electròniques de control. I en el cas del interruptor, ha de suportar l'amperatge subministrat a Arduino. en cap cas superior als 0.1A.

3.1.1.9. Díodes LED

Son necessaris per a monitoritzar el funcionament correcte del prototip. Es necessari saber si el Datalogger està encès, si aquest esta registrant dades, o si aquest té algun problema de funcionament.

3.1.1.10. Resistències

Dins del prototip, les resistències tenen diferents funcions. Entre elles, està la seva connexió Pull-Up // Pull-Down, necessària per establir valors lògics a certs pins. O limitar la intensitat que circula per altres components com poden ser els leds per a la seva protecció.

3.1.1.11. Altres elements connectors

Per al connexionat dels diferents mòduls entre ells, per obvi que sigui dir-ho, s'ha empleat l'ús de cables. Per les condicions de voltatge e intensitat dels mateixos, les especificacions dels cables usats son pràcticament menyspreables (més, sent aquest un prototip no definitiu). S'ha triat cable unifilar ja que es solda amb millor facilitat i precisió als pads perforats de la placa.

S'han usat també "header pins" extra per a la transmissió de senyals entre els shields, sense que aquestes haguessin de passar per la placa Arduino i un bloc terminal per a la connexió externa de la bateria.

3.1.2. Software

3.1.2.1. IDE Arduino

L'IDE (Integrated development Environment) d'Arduino es una aplicació *OpenSource* que compta amb un editor de codi, un depurador i un compilador. Conté un llenguatge de programació propi (.ino), aquest es un sub-llenguatge del conegut C++, per el que hi ha moltes estructures i funcions similars.

Al ser un llenguatge propi, aquest conté funcions pròpies i fàcils d'usar com per exemple "AnalogRead()" o "DigitalWrite()" per a la comunicació dels pins del Arduino. A demés de comptar amb varies llibreries incorporades dins del IDE, o centenars d'elles escrites per tercers i descarregables des de diferents pàgines web.

L'IDE permet escriure el codi d'una forma estructurada, fer el debug del mateix, compilar-lo i transmetre'l a un Arduino connectat al PC. A demés, permet la gestió de llibreries, tant internes, com externes. Comunicació Serial en temps real amb l'arduino, gràfiques de les dades recol·lectades per Arduino. O inclús, programar el bootloader en microprocessadors de la sèrie ATmega verges. A la **Fig 13** es pot observar la interfície d'aquest programari.

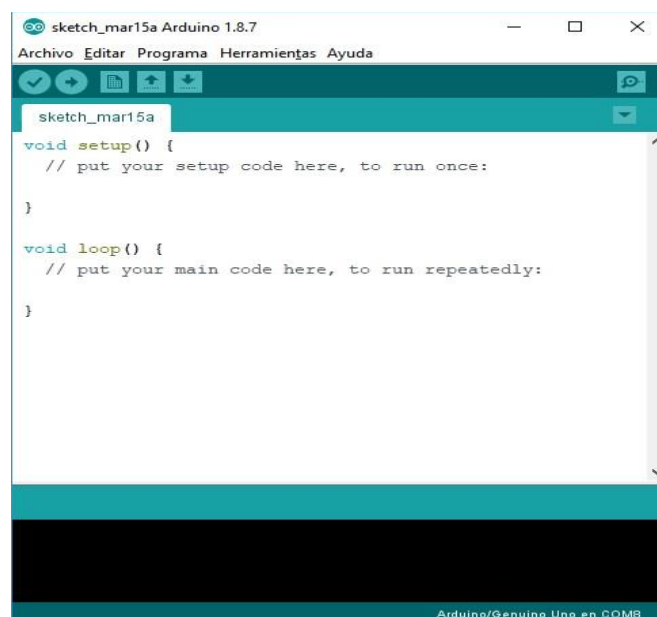


Fig 13. IDE Arduino

3.1.2.2. Fritzing

Fritzing es un programa open-source (gratuït) molt usat a nivell usuari per els entusiastes de l'electrònica i arduino. Permet realitzar connexionat entre diferents components i veure la connexió tant a nivell esquemàtic, com a nivell gràfic, amb una vista dels components i el cablejat. A demés, permet la col·locació dels components en una vista PCB per al disseny de PCB's.

Es un programa molt intuïtiu d'utilitzar i agradable visualment per a crear esquemes, però la manca de components SMD i d'integrats, així com la limitació d'opcions en el disseny de PCB no el fa del tot recomanable per a aquest últim supòsit si el projecte es mitjanament complex.

Al ser un programa principalment centrat en Arduino, incorpora de sèrie la majoria dels seus components oficials. I els principals fabricants de mòduls compatibles amb arduino (com Sparkfun o Adafruit) tenen les seves pròpies llibreries descarregables des de les seves pàgines web. A demés, per internet es poden trobar centenars de llibreries escrites per tercers.

Per desgracia, s'ha comprovat experimentalment que la creació de components propis es complexa, ja que al tindre una interfície gràfica, els fitxers dels components son .dvg i s'han d'editar amb programes externs de dibuix vectorial.

Cal comentar també, que al ser un programa centrat en arduino, en el propi projecte a demés de poder-se definir els esquemàtics de connexió, es possible guardar el codi que executarà el micro-controlador d'Arduino.

3.2. Material utilitzat en el disseny i producció del datalogger

3.2.1. Hardware

La llista de components usats en el muntatge de la placa datalogger es pot trobar a la Taula 2 del apartat 5.1.1, no es creu corresponent descriure-la aquí, ja que es resultat d'un estudi realitzat en el mencionat apartat. Si es pot avançar, que quasi tots els components son SMD (Surface mount device), això es així per a un millor aprofitament de l'espai de la placa.

Placa impresa de coure amb el circuit dissenyat, encarregada a construir per una empresa externa.

Es creu necessari mencionar breument tot el material utilitzat per a la soldadura dels components a la placa; així com un soldador d'estany de punta fina (0.1mm), estany de baix diàmetre (0,4mm), pasta d'estany per a certs pads de difícil soldadura, flux, pinces per a la subjecció dels components, microscopi per a verificar els punts de soldadura, multímetre per a corroborar la continuïtat entre punts i components en la placa i una catifa de silicona tolerant a les altes temperatures per a mantenir en condicions ideals tot l'espai de treball.

S'ha utilitzat una bateria model 18650 de Li-ion (**Fig 14**) per al projecte final. Aquestes bateries tenen una relació voltatge-d Descarrega força més lineals que la de liti feta servida per al prototip inicial. A demés d'una forma molt estàndard, per el que no costa trobar sockets adequats per a la mateixa.

La utilitzada exactament per a aquest projecte, es de la marca UltraFire, amb una capacitat de 2.400mAh (a 3,7V). Compta a demés amb un sistema de seguretat propi incorporat dins la pròpia bateria. Evitant curtcircuits, sobre-carregues o sobre-d Descarregues.



Fig 14. Bateria 18650, 3.7V, 2400mAh

*No tots els models de bateries 18650 porten incorporat el sistema de seguretat.

3.2.2. Software

3.2.2.1. Eagle

El software utilitzat es el Autodesk EAGLE, un programa que permet el disseny i edició de circuits impresos. El programa consta de diferents versions; una primera força bàsica, però funcional gratuïta, dues més de subscripció, on el preu marca les limitacions del mateix, i un altre ultima versió gratuïta per a estudiants, que es la usada en aquest projecte.

El programa compta amb tres vistes del mateix; un panell de control, des del que es poden veure, crear, editar o esborrar les llibreries, projectes i demés elements.

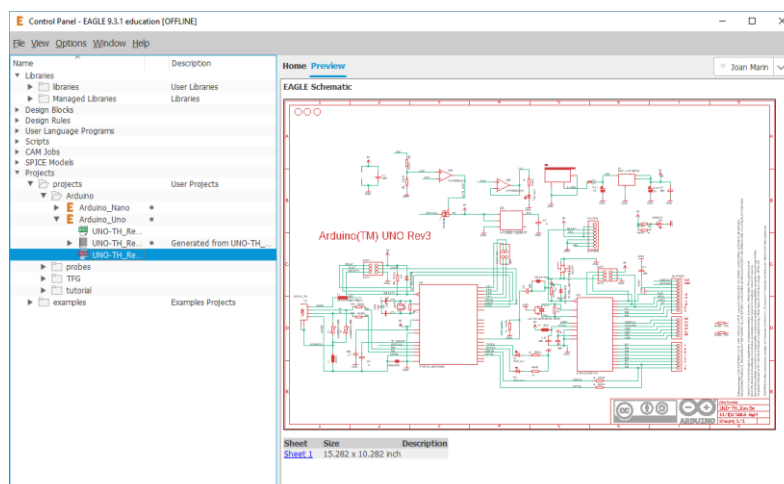


Fig 15. EAGLE Control panel

Vista Schematic, permet l'addició de components al projecte i les connexions esquemàtiques entre ells. Permet també l'edició del nom o valor dels mateixos o de les connexions.

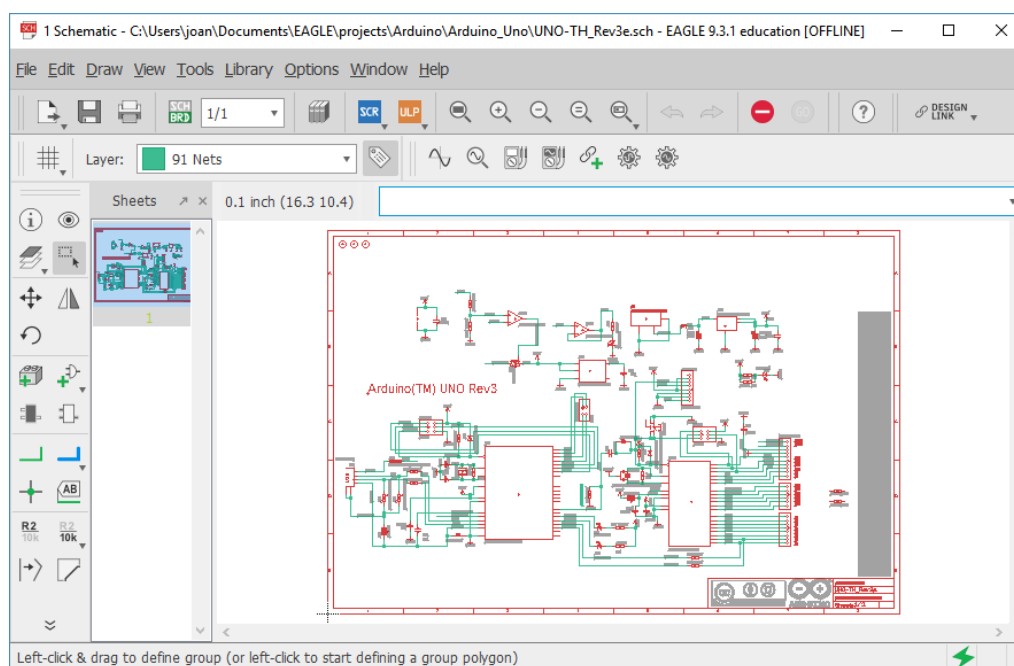


Fig 16. Eagle Schematic

Vista Board, es una visualització 2D de la placa amb els components seleccionats anteriorment en la vista Schematic. Permet situar físicament els components en la placa i dibuixar les pistes entre ells, de forma manual o automàtica (auto-route).

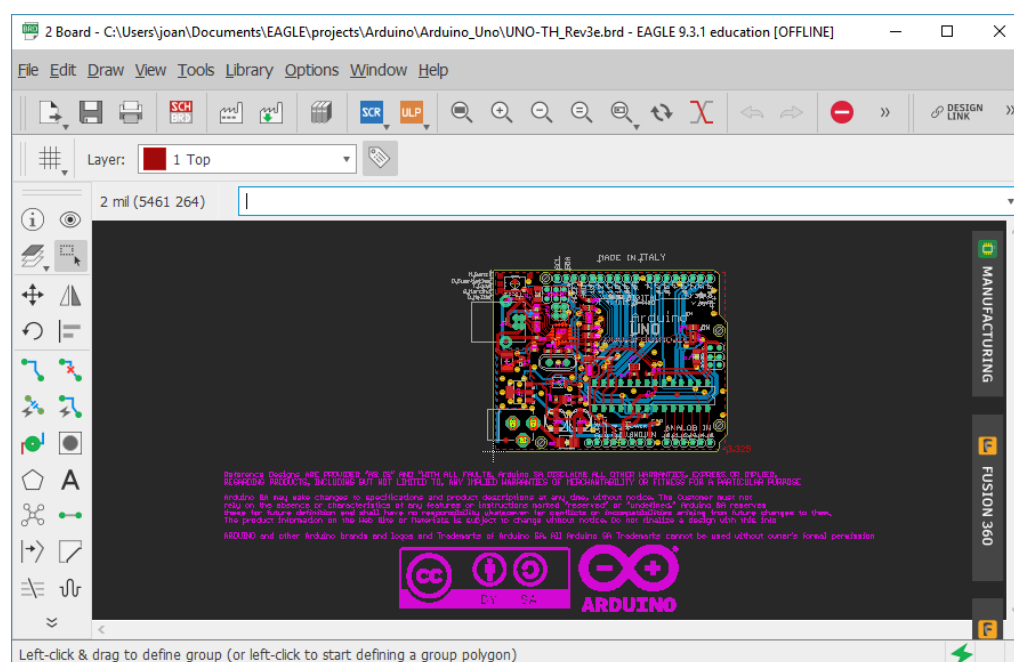


Fig 17. EAGLE Board

Eagle compta amb llibreries pròpies amb els components més usuals, però força limitades. No obstant, no es complica afegir components i llibreries de tercers.

3.2.2.2. SanacSys

Des de *Mouser.es*, un gran distribuïdor de components, s'ofereix gratuïtament el programa "SanacSys". Un programa que instal·la automàticament els components i footprints dels components desitjats en diferents programes d'edició de circuits impresos. Entre ells, Eagle.

3.2.2.3. CATIA V5

CATIA es un programa de disseny, simulació, anàlisi i creació de productes per a la indústria. A dia d'avui es un dels referents i dels més utilitzats en els sectors del automòbil, aviació i maquinaria industrial entre d'altres.

Si es convenient comentar que la seva interfície no es del tot intuïtiva, però si es capaç de donar moltes opcions per al disseny.

Una de les característiques de CATIA es la seva estructuració en mòduls, Si més s'ha de pagar per la seva llicència, cada mòdul (amb les seves opcions i macros) té el seu propi preu. No sent el típic programa amb versió lite i pro.

En el projecte actual, la versió utilitzada es CATIA V5 Student Edition. Una versió de preu molt reduït, o gratuïta gràcies a certes promocions realitzades dins l'àmbit universitari.

No es creu convenient la descripció de la interfície ni l'ús de CATIA, ja que degut a la seva complexitat, excediria de forma contundent l'abast del projecte.

3.2.3. Documentació

3.2.3.1. OSH (Open-Source Hardware) Schematics

Tots els mòduls usats en el projecte son open-source, per el que la documentació dels mateixos es publica i gratuïta. Els schematics son la interconnexió dels diferents components dels quals estan constituïts el mòduls que s'usen en el projecte.

3.2.3.2. Datasheets

Els Datasheets son els fulls amb totes les dades i característiques de cada component electrònic. Es poden trobar datasheets d'es d'una pagina, on sols es mostra la mida i connexió de pins d'un component, com el socket d'una targeta SD, fins a d'altres amb centenars de pàgines, com el del ATmega328, on explica la mida, connexions, valor dels registres i funcionalitats, exemples i un llarg etcètera.

Els datasheets en aquest projecte han sigut essencials per a verificar el tamany i numerat dels pins en el footprint de cadascun dels components usats, a demés d'ajudar a entendre la necessitat i funció dels mateixos components en els esquemes de referencia.

4. Desenvolupament del Prototip de Datalogger sobre la plataforma Arduino

Per a fer una primera aproximació de viabilitat del projecte, així com per a estimar les dificultats que pot comportar, s'ha realitzat un primer prototip de datalogger basat en la plataforma Arduino, amb els seus shields i mòduls pre-dissenyats.

4.1. Metodologia de desenvolupament

S'ha implementat el Datalogger en varies parts i fases molt diferenciades entre elles. S'ha seguit un procediment d'implementació per parts, d'aquesta forma, s'han pogut aïllar de forma raonable els problemes de codi i connexionat, a demés de mantenir una estructura ben definida.

4.1.1. Esquema de connexió de control.

S'ha realitzat primerament el esquema del cor del prototip per a reafirmar les idees inicials sobre el funcionament del prototip, comprovant la correcte interacció entre Arduino i els seus perifèrics. Els esquemes de control, tant dels mòduls físics, com del connexionat es poden trobar a les **Fig 18** i **Fig 19**.

Els apartats següents identifiquen la necessitat de cadascun dels components i mòduls empleats, així com quina es la seva funció dins el projecte i quin es el seu connexionat. Tots ells es poden situar sobre les figures anteriorment descrites.

4.1.1.1. Polsadors

Es creu en la necessitat de dos polsadors, un per a iniciar i parar el procés del registre de variables en la targeta SD, més un altre amb la capacitat de esborrar el registre ja guardat en la SD.

Com es pot observar a **Fig 19** **Fig 19**. Connexió esquemàtica Arduino control, el prototip compta amb els polsadors de *reset* i *start/stop* connectats respectivament als pins digitals 2 i 3 de Arduino. Aquests polsadors estan connectats a través de resistències Pull-Down de 10KΩ per un costat i per l'altre a 5V entregats per el propi Arduino. Això permet que els pins

tinguin una entrada lògica baixa (0V) en repòs i una entrada lògica alta (5V) quan siguin polsats.

En molts casos, quan s'utilitzen polsadors, es necessari el us de condensadors a mode de filtre per evitar el rebot intern del contacte *bouncing*. En aquest cas, aquesta problemàtica s'ha solucionat per software, per el que no es necessari el us d'aquests condensadors.

*S'ha assignat aquests dos pins, ja que son sensibles a interrupcions. No s'utilitzen en aquest cas, però si es volgués millorar el programa, no faria falta modificar el connexionat.

4.1.1.2. Leds

S'incorporen dos leds al prototip. Un d'ells a mode d'indicador que s'estan registrant dades en la targeta SD. L'altre es per a indicar possibles errors, com ara la falta de targeta SD o la impossibilitat de connectar amb algun dels sensors. Aquest segon led indicarà aquestes falles mitjançant un codi de parpellejos.

S'ha optat per a connectar en sèrie resistències de 220Ω, un valor superior al que tocaria per a aquests leds, però així s'aconsegueix una millor eficiència. Ja que aquests leds sols han de fer d'indicadors.

$$I_{led} = I_r = \frac{V_{in} - V_{led}}{R} = \frac{5 - 3.2}{220} = 8,1mA.$$

4.1.1.3. Datalogger Shield

El muntatge del datalogger no té molta complexitat, però si es convenient explicar les seves connexions.

Comunica la targeta SD amb l'arduino a través del protocol SPI. Arduino té definits els pins d'aquest protocol com MOSI, MISO, SCK en els pins 11, 12, 13 respectivament. El Shield respecta aquesta connexió, però a més, connecta el pin SS al pin 10 d'Arduino.

El rellotge que incorpora el Shield, realitza la connexió amb arduino a través del protocol I2C. A través dels pins A4 i A5 d'Arduino (SDA i SCL respectivament). La seva adreça es 0x68 i no es modificable.

El Shield a demés incorpora una sèrie de pins connectats directament al socket de la SD i al rellotge, entre ells, es troben el *card detect CD*, *write protect WP*, *squarewave SQ* i 3,3V.

En el projecte, s'utilitza aquest CD amb l'ajut d'una resistència Pull-Up per a donar un estat lògic al pin 4 del arduino, que indicarà si la targeta està instal·lada o no. Estat baix (0V) si hi ha targeta, i estat alt (5V) si aquesta no està insertada.

4.1.1.4. BME280

El BME280 està connectat als pins A4 i A5 (SDA i SCL respectivament), a demés de Vin i GND. Es configura i transmet les dades dels sensors interns a través del protocol I2C.

La seva adreça I2C per defecte es 0x76, però en el mòdul que es fa servir, es fàcilment modificable amb un punt de soldadura que uneixi el *jumper pad* que incorpora.

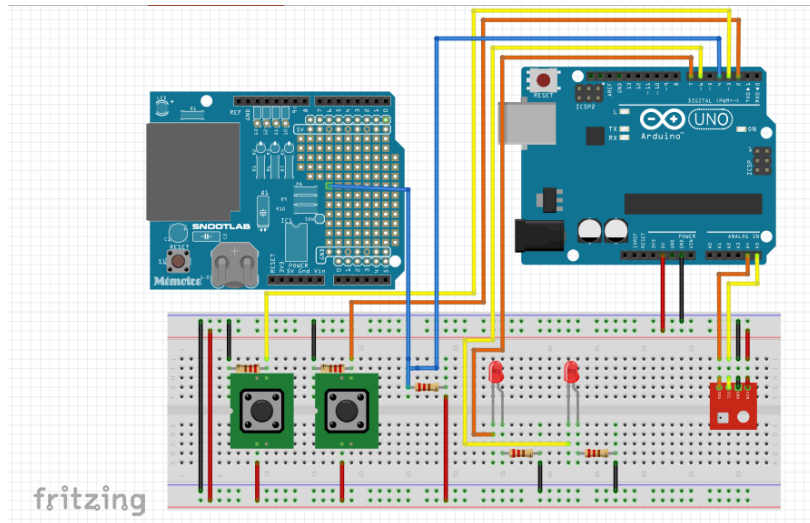


Fig 18. Connexió gràfica Arduino control

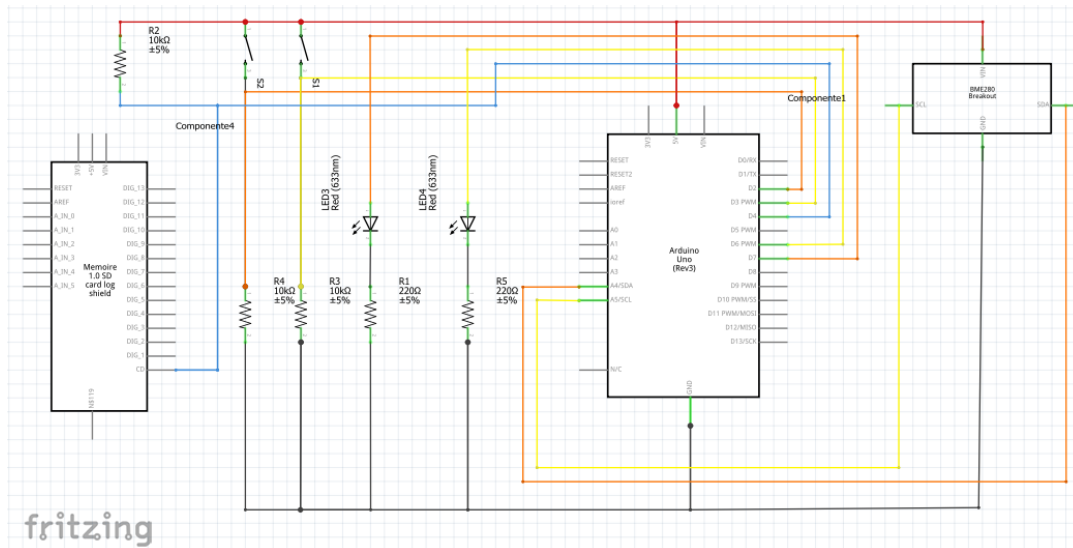


Fig 19. Connexió esquemàtica Arduino control

*Tant en un esquema com en l'altre, s'ha omes la connexió entre la placa arduino i el datalogger Shield, ja que aquesta connexió ve implícita en el muntatge i sols dificultaria la lectura dels esquemes.

4.1.2. Esquema de connexió de potencia.

La majoria de components del prototip funcionen a 5V. Les opcions contemplades per a l'alimentació de tots ells, eren usar una bateria de dues cel·les de 3,7V en sèrie per a després connectar un convertidor Step-Down, o una bateria d'una sola cel·la i ampliar el seu voltatge a través d'un convertidor Step-Up. S'ha triat la segona opció, ja que es considerava més viable, tant a nivell econòmic, com a nivell de disseny.

Com en l'apartat anterior, es proporcionen dos esquemes, un visual i un altre esquemàtic sobre la connexió dels mòduls i components a les Fig 20 i Fig 21.

4.1.2.1. Bateria

El prototip està alimentat a través d'una bateria de liti de 3,7v. Aquesta subministra un voltatge màxim de 4,2V i un mínim de 2,8V abans d'arribar al Umbral on aquesta ja no es recarregable.

4.1.2.2. Mòdul de carrega

La bateria es carrega a través d'un mòdul de carrega genèric, amb entrada micro-USB a 5V (al esquema, component 3). Aquest mòdul es capaç de carregar i mantenir el voltatge de la mateixa a 4,2V i compta amb sistema de protecció de sobre-voltatge. Cal comentar, que la massa de la bateria i la massa de la sortida del mòdul no son comunes.

4.1.2.3. Mòdul convertidor DC-DC STEP-UP

La sortida del mòdul de carrega es connecta, a través d'un interruptor, a un mòdul genèric convertidor step-up, que augmenta qualsevol voltatge d'entrada, a partir de 0,9V, fins a 5V. Aquest voltatge s'introdueix al pin 5V d'Arduino per a alimentar-la.

Des del web d'Arduino, no recomanen aquesta connexió per a la alimentació ja que no consta de protecció de sobre-voltatge ni d'inversió de polaritat, però es creu que es la forma més adient per alimentar la placa amb els mòduls usats. Connectar la placa a través del pin Vin, suposaria hagué de subministrar un voltatge major a 5V, per a compensar la caiguda de tensió del regulador de voltatge intern, a demés d'un consum evitable com es el d'aquest regulador lineal (regula convertint el voltatge sobrant en calor).

4.1.2.4. Led RGB

S'utilitza un led RGB per a representar l'estat de la bateria, s'ha de vigilar, que com s'ha comentat abans, les masses de la bateria i la del circuit en general, no son compartides. Per el que s'usa a la massa del circuit. Depenent de la lectura que s'obtingui de la bateria, per l'entrada del pin analògic A3, s'activarà una de les tres sortides digitals que configuren el color del led RGB. Aquest conté una resistència entre el seu càtode i massa.

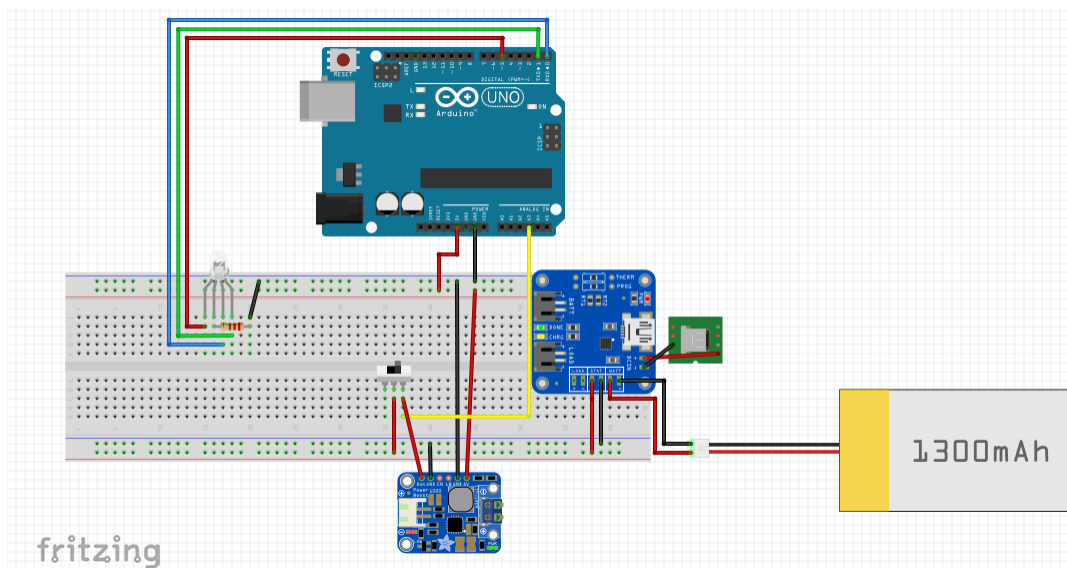


Fig 20. Connexió gràfica Arduino potencia

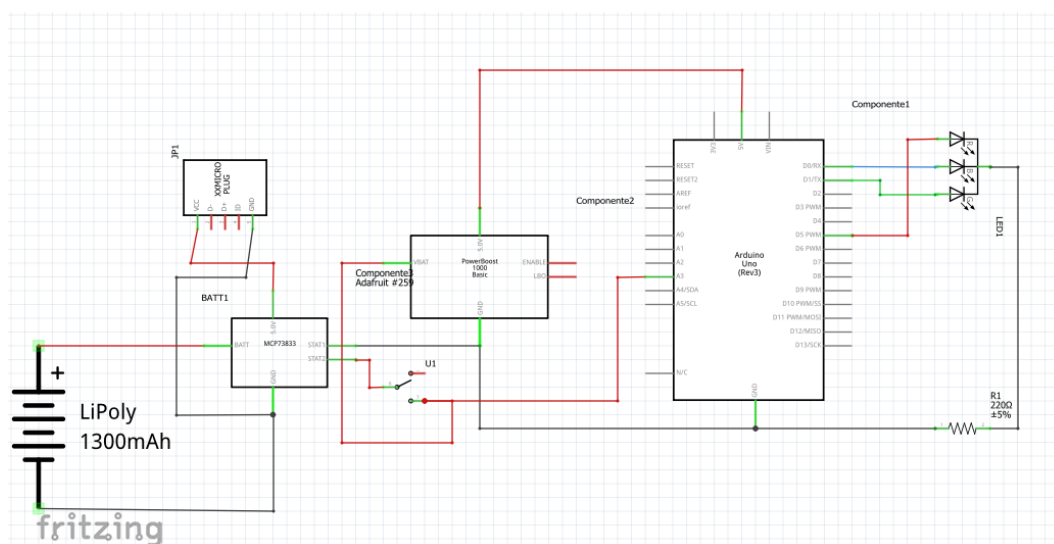


Fig 21. Connexió esquemàtica Arduino potencia

*S'ha de tindre en compte que els mòduls usats en el prototip no es corresponen idènticament als usats en l'esquema, degut a que son genèrics. Si però, la seva funció es similar i el connexionat idèntic.

4.1.3. Software implementat

En la **Fig 22** es pot observar un diagrama de flux del programa que executa el micro-controlador ATmega328 d'Arduino.

Comença el programa incloent les llibreries i la definició de pins usats per l'Arduino.

En el setup inicia les connexions necessàries per als perifèrics i els inicialitza.

En el loop, primerament comprova si s'està polsant el boto d'start/stop. El mode d'activar el datalogger es mantenint polsat el boto durant un cert temps, això evita els problemes que pot produir el rebot "*bouncing*" dels polsadors. Aquest activa o desactiva una variable que permet decidir posteriorment si s'han de gravar dades a la targeta SD o no.

Seguidament comprova si s'ha produït algun error amb algun dels perifèrics, en aquest cas, l'intentarà iniciar de nou. No sortirà d'aquest bucle fins que els perifèrics estiguin correctament configurats. Mentre es trobi en aquest bucle, arduino emet per un dels seus leds, mitjançant un codi de parpellejos, quin es el perifèric que produeix aquest error. El codi d'errors es troba al Annex 1.

Recull les dades dels sensors i del rellotge de temps absolut. I registra quin es l'estat de la bateria, mostrant-lo per el led RGB.

Si la variable RUN esta activa, el micro-controlador gravarà les dades obtingudes a la targeta SD cada 30 segons. En el cas que aquesta estigui buida, primerament crearà una capçalera indicant el nom de cada variable.

En el cas que RUN sigui falsa, passa a comprovar el boto de resset, i si aquest està polsat el temps necessari, esborrarà les dades que es troben en la targeta SD. En l'últim punt, comprova si s'ha generat algun error, i si es el cas, desactiva la variable RUN. El codi torna a executar-se des del principi del loop.

El codi complet es pot trobar al Annex 2.

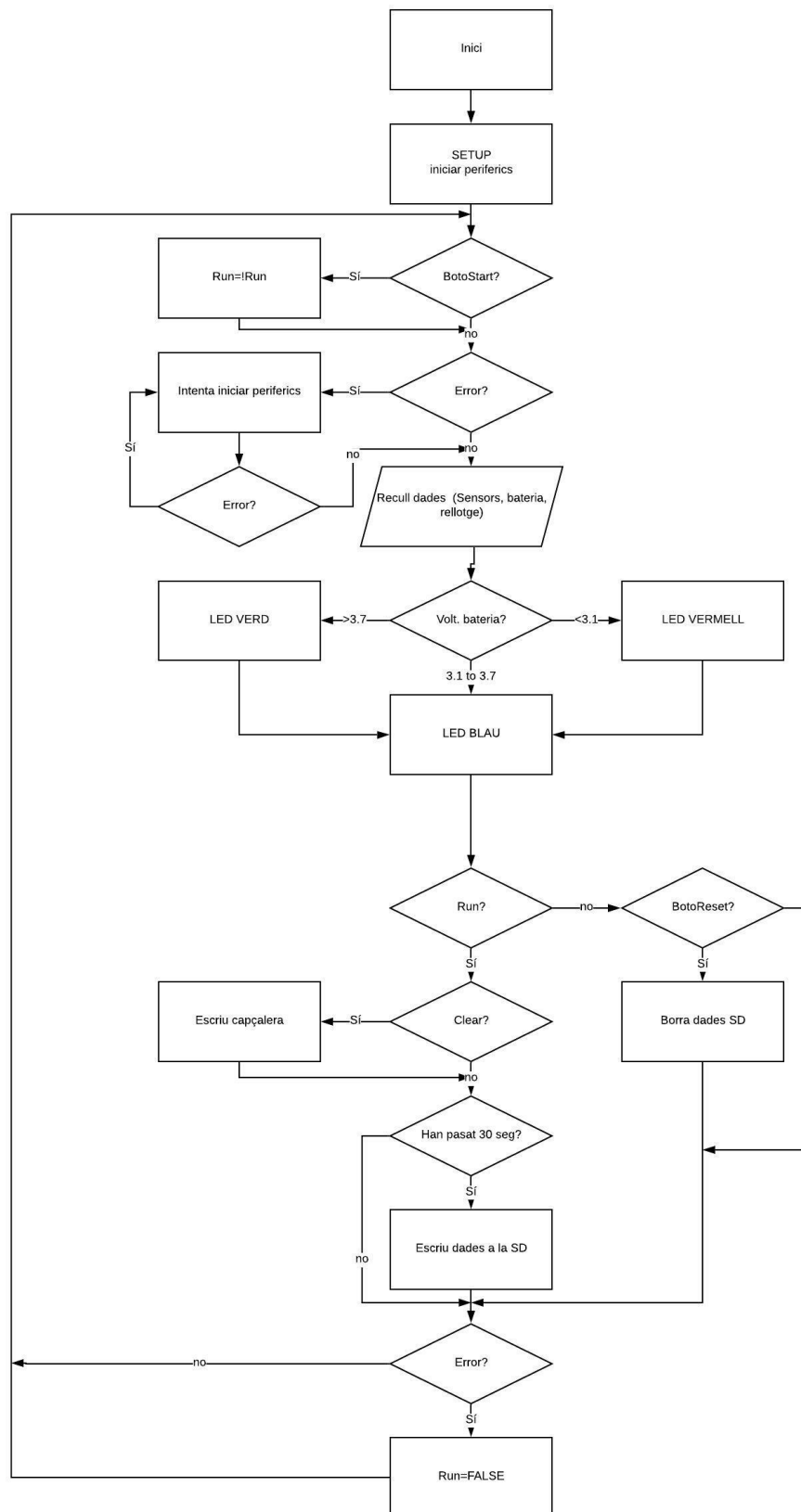


Fig 22. Diagrama flux del programa

4.1.4. Muntatge en protoshield

Un cop s'ha verificat cadascun dels esquemes anteriorment descrits i que el programa es compatible, s'ha passat a soldar els mòduls i components en la prototipeShield. Permetent així una bona robustesa del prototip i una mida considerablement menor al usat fent servir protoboards.

S'ha intentat en la mesura del possible, que tots els mòduls i components es trobessin en la part superior dels shields, mentre que el cablejat es trobés en la part inferior. A efectes pràctics, no té cap conseqüència, però si es molt més agradable visualment.

La disposició dels components tampoc té una metodologia estricta, més allà d'usar una que permetés que tots els components entraven adequadament. Si s'ha previst, que els terminals, com la connexió de la bateria, entrada de carrega o interruptor, fossin accessibles.

Cal comentar també, una petita modificació en un dels mòduls, específicament el Step-up booster. Que si més, la seva finalitat en un principi era ser usat en "power bancs" per a mòbils, en aquest cas, es l'alimentació de la PCB. Per el que s'ha preferit eliminar el connector USB que porta integrat, que a demés de no aportar funcionalitat, destorba.

Tot seguit, s'adjunten unes quantes imatge de com han quedat els shields usats amb els mòduls i altres components ja soldats. No es creu necessari explicar el connexionat dels mateixos, ja que aquest ja està descrit anteriorment en els apartats 4.1.2 i 4.1.3.

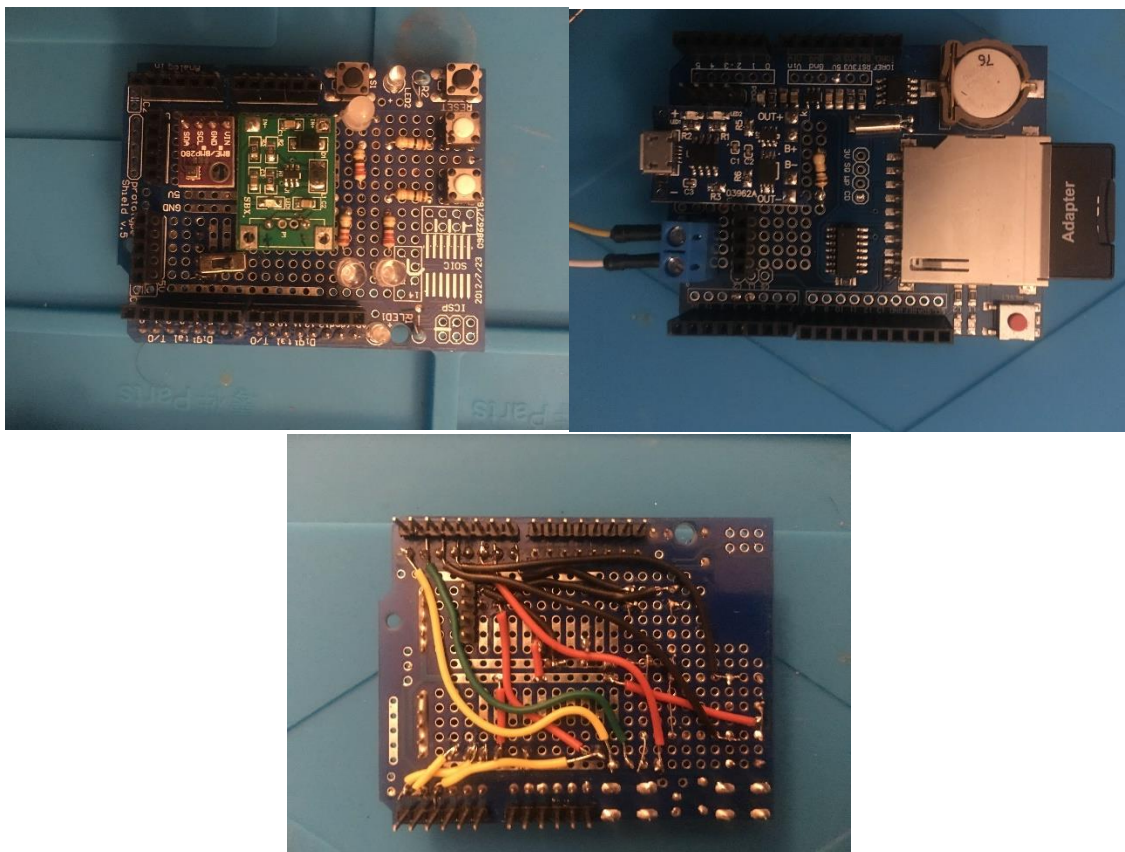


Fig 23. Shields amb mòduls soldats

4.2. Probes inicials del prototip datalogger basat en arduino

Un cop soldats tots els elements i mòduls, s'ha verificat el correcte funcionament del prototip tot aplicant una bateria de proves. Com ara, e funcionament tant amb alimentació via USB, com per la bateria externa. La correcte mesura del estat de la bateria, i la seva monitorització per el led RGB, així com verificar els 5v estables d'Arduino amb independència de l'estat de la bateria. Les opcions de gravar dades, parar o esborrar la memòria, sense que aquestes interferissin entre elles i assegurar que els valors generats del sensor es corresponguessin amb els ambientals.

S'haguessin volgut fer probes redundants sobre el codi d'errors quan falla algun dels mòduls, però al estar soldats, aquestes proves han hagut de ser descartades.

A continuació es mostra una imatge del prototip ja muntat i connectat a la bateria externa. La imatge s'ha pres amb el dispositiu apagat, ja que la lluminositat dels leds no permetien una imatge de gran qualitat.

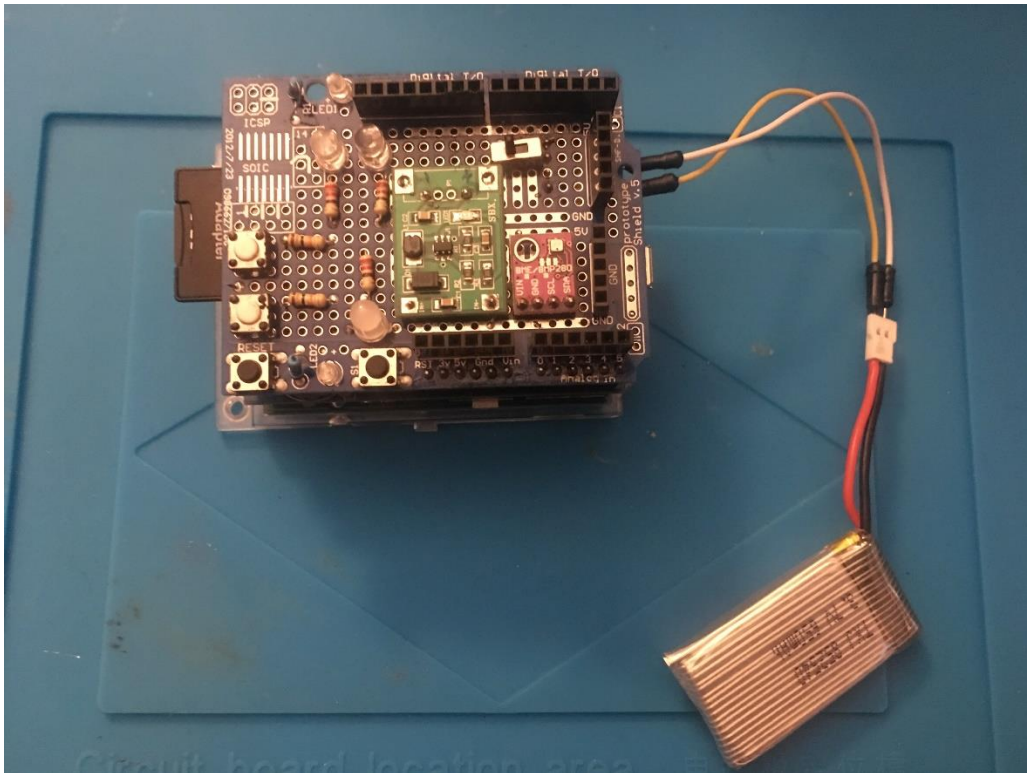


Fig 24. Prototip datalogger basat en arduino

Finalment s'ha fet una prova de funcionament al exterior durant un dia sencer per a comprovar la seva resposta al us intensiu, la autonomia amb la bateria externa, així com un com una coherència amb les dades obtingudes.

En la Fig 25 es poden observar les gràfiques obtingudes per el datalogger, mentre que si s'observa una coherència força raonada en les dades obtingudes, totes força estables i amb una certa similitud a les mostrades en la Fig 26 de la estació meteorològica del Prat del Llobregat. Òbviament es veuen algunes discrepàncies, ja que el datalogger ha pres les dades al municipi de L'Hospitalet del Llobregat, que no compta amb la seua pròpia estació.

El més preocupant vist en la gràfica, es l'autonomia del prototip, si s'esperava que pogués aguantar les 24h de prova, sols ha aconseguit registrar prop de 7 hores. S'espera solucionar el problema amb una bateria de bastanta més capacitat en el prototip final (passant dels 650mAh actuals als 2800mAh de la bateria 18650), a demés d'eliminar consums innecessaris del prototip. Com alguns leds que incorporen els mòduls de sèrie o altres integrats que no aporten valor al projecte.

El que també es pot observar, es la protecció adequada de la bateria, mentre que la carrega completa s'ha realitzat fins a una mica més dels 4V de la bateria, en la descarrega el prototip s'ha desconnectat prop dels 2.5V per a protegir a la pròpia bateria.

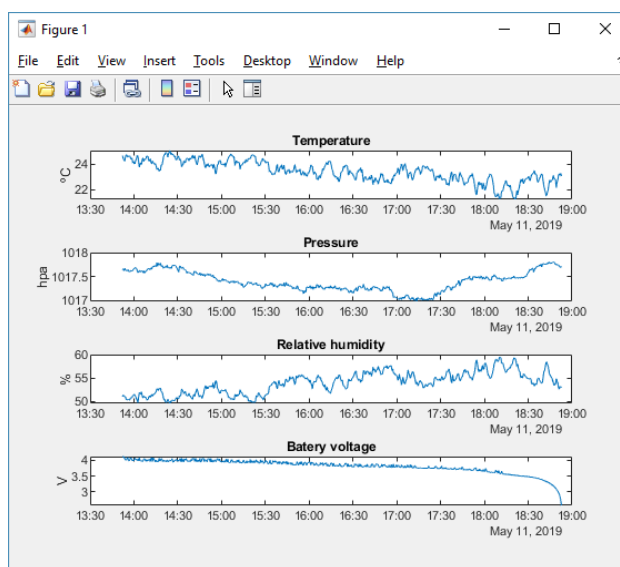


Fig 25. Probes al exterior sobre prototip inicial

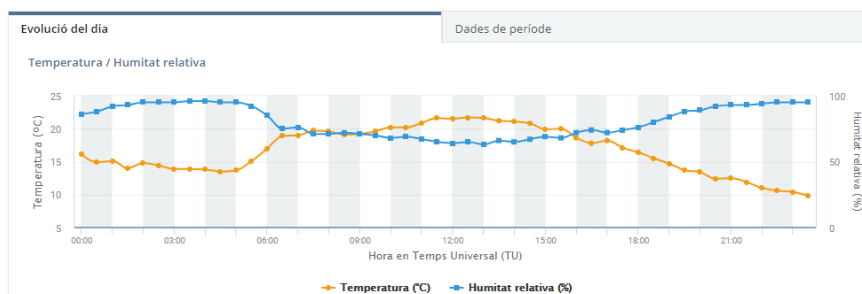


Fig 26. Estació meteorològica El Prat de Llobregat [XL] 11.5.2019 [11]

En l'Annex 3 s'inclou el codi del scrip de matlab utilitzat per a llegir les dades i crear les gràfiques mostrades en la Fig 25.

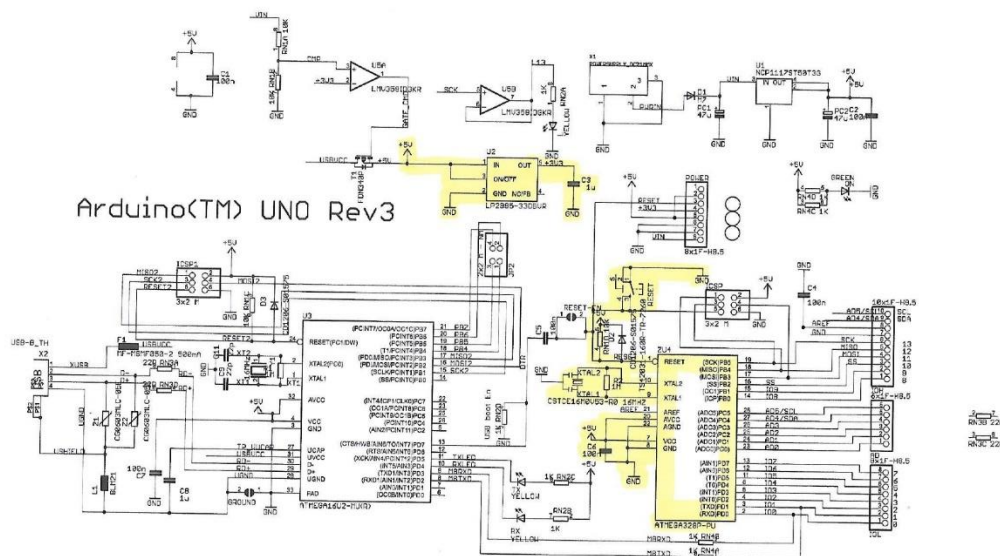
5. Desenvolupament de la industrialització del datalogger

5.1. Disseny del prototip de la placa

5.1.1. Selecció de components

Amb els schematics de cada mòdul i shields escollits, s'ha fet una tria dels components necessaris e imprescindibles per al muntatge del datalogger. Un exemple clar, es el ATmega16U2 per a la comunicació UART del arduino, on en el nostre projecte no té sentit de ser-hi.

Del esquematic del ArduinoUno, Fig 27, els components essencials són el ATmega328P-PU, el seu condensador d'entrada de 100nF, el CSTE16M0V53-R0 (oscil·lador amb condensadors incorporats), la resistència en sèrie de 1M, el botó de resset, amb la seva resistència pull-down de 10K i el LP2985-33DBVR (regulador de tensió a 3,3V), amb el seu respectiu condensador de sortida.



Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. ARDUINO is a registered trademark. Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

Fig 27. esquematic ArduinoUno [5]

En l'esquematic del datalogger shield, Fig 28, s'ha seleccionat el RTC (Real Time-Clock) DS1307, el seu oscil·lador de 32.768KHz, el socket de la bateria externa i les dues resistències Pull-Up per a la connexió I2C.

De cara al emmagatzematge d'informació, a dia d'avui les targetes μ SD estan força més estandarditzades que les SD, a demés de minimitzar l'espai ocupat per la mateixa. Per això s'ha preferit usar un socket per a μ SD enlloc del utilitzat originalment en el shield. Si es manté el CD4050 utilitzat per a la conversió de nivells lògics.

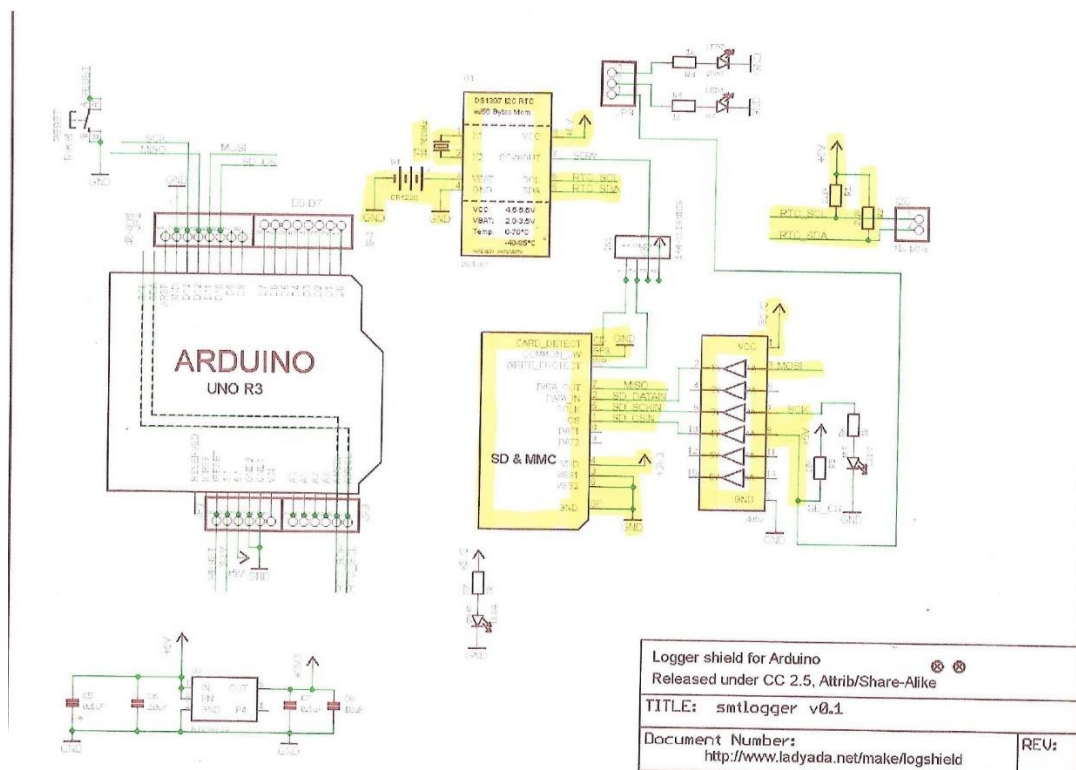


Fig 28. esquematic DataloggerShield [6]

Dels mòduls de carrega i convertidor Step-up, al ser genèrics, no s'han trobat esquemàtics del seu muntatge, si però, amb el gravat que portaven els seus integrats s'ha aconseguit descobrir quin era aquell integrat, i amb l'ajuda del datasheet (que incorpora exemples de muntatge) i el mòdul físic i un multímetre, s'ha esbrinat quins components incorporava i quin era el connexionat.

El mòdul de carrega està basat en els integrats TP4056 (regulador de voltatge per a la carrega de bateries de liti), DW01A (protector de sobre-carrega i sobre-descarrega de bateries) i 8205A (mosfet de dos canals necessari per al integrat DW01A).

Seguidament es veu el connexionat recomanat per el fabricant dels mateixos integrats, així com una comparació amb el mòdul adquirit.

S'observa en la Fig 29 la connexió recomanada del integrat TP4056. La resistència d'entrada s'ha obviat, així com està fet en el mòdul físic. Els condensadors d'entrada i sortida son els mostrats en la figura, de 10 μ F. S'ha obviat també el led de stand-by, ja que el prototip final ja estarà definit amb el seu propi sistema indicador. Si s'ha cregut convenient deixar el led indicador de carrega completa de la bateria. Per a obtenir el màxim d'intensitat de carrega possible, segons el datasheet, la Rprog. ha de ser de 1,2K, que es

TYPICAL APPLICATIONS

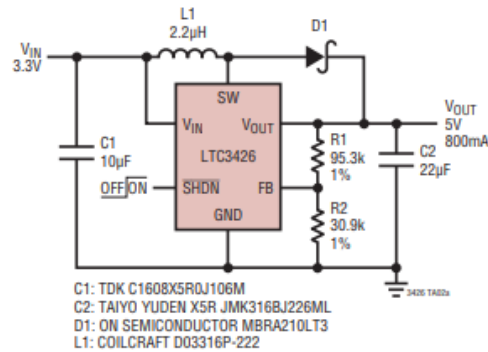


Fig 31. LTC3426 [14]

Del esquemàtic del mòdul BME280, **Fig 32**, s'ha triat el component BME280 amb el seu condensador, els dos BSS138 i les seves resistències pull-up respectives.

A demés dels components del mòdul ja descrits, s'utilitzen també els components extres triats en el mòdul arduino del apartat 3. dos polsadors amb les seves resistències pull-down, cinc leds amb la corresponent resistència i l'interruptor.

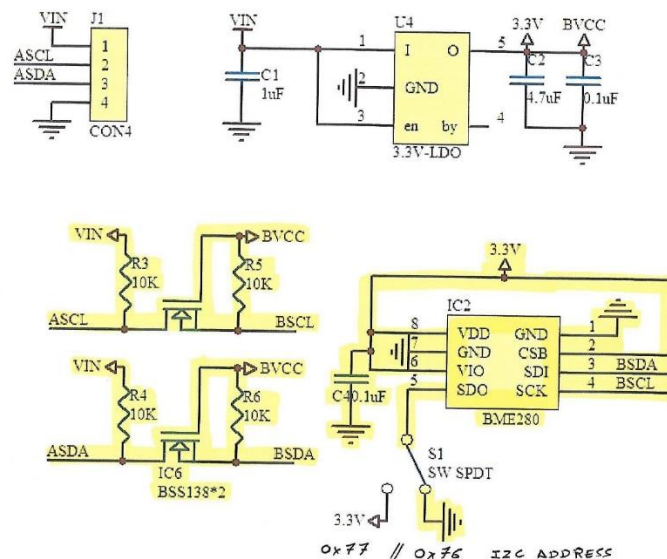


Fig 32. esquematic modul BME280 [7]

La funció, descripció, explicació i connexió de cadascun dels components actualment mencionats està redactada en els següents apartats, amb la intenció de tenir una cronologia el més lògica possible. A continuació es mostra una taula amb la llista d'aquests components.

ArduinoUno	AtMega328-P	Micro-controlador
	Socket PDIP-28	Socket del micro-controlador
	Polsador	Polsador de resset
	CSTE16M0V530000R0	Oscil·lador del micro-controlador
	LP2985-33DBVR	Convertidor de tensió Vout 3.3v
	Resistència 1MΩ	En sèrie amb el oscil·lador
	Resistència 10KΩ	Pull-Down del Polsador resset
	Condensador 0.1μF	Entrada del micro-controlador
	Condensador 1μF	Sortida del convertidor de tensió
Datalogger Shield	DS1307ZN	Real Time Clock
	SOCKET CR1220	Socket per a la bateria
	CR1220	Bateria del RTC
	CD4050	Level-shifter unidireccional de la μSD
	SOCKET μSD	Socket de la SD
	Resistència 2.2KΩ	Pull-Up del SCL
	Resistència 2.2KΩ	Pull-Up del SDA
	Oscil·lador 32.768KHz	Oscil·lador del RTC
Mòdul BME280	BME280	Sensor de temperatura, humitat i pressió
	BSS138	Level-Shifter bidireccional SCL
	BSS138	Level-Shifter bidireccional SDA
	Condensador 0.1μF	Entrada BME280
	Resistència 10kΩ	Pull-Up BSS138 in SCL
	Resistència 10kΩ	Pull-Up BSS138 out SCL
	Resistència 10kΩ	Pull-Up BSS138 in SDA
	Resistència 10kΩ	Pull-Up BSS138 out SDA
	Resistència 10kΩ	Pull-Down BME280 sdo
Carregador de bateria	SOCKET μUSB	Entrada carrega
	TP4056	Controlador de carrega
	LED Vermell	Led visor de carrega
	Resistència 1kΩ	Resistència del led
	Resistència 1.2kΩ	Resistència limitadora d'intensitat (TP4056)
	Condensador 10μF	Entrada TP4056
	Condensador 10μF	Sortida TP4056
	DW01A	Protector de bateria
	8205A	Mosfet dual
	LTC3426	Step-Up 5v
	MBRA210LT3G	Díode Schottky
	Condensador 22μF	Sortida LTC3426
	Condensador 10μF	Entrada LTC3426
	Inductor 2.2μH	Inductor del LTC3426
	Resistència 30.9k	Divisor tensió fb LTC3426
	Resistència 95.3k	Divisor tensió fb LTC3426
	SOCKET 18650	Socket de la bateria
	Bateria 18650	Bateria del prototip

Elements auxiliars	Led blau	Led de funcionament
	Led blau	Led d'error
	Led verd	Led d'estat de carrega
	Led taronja	Led d'estat de carrega
	Led vermell	Led d'estat de carrega
	Resistència 1k Ω	Resistència del led
	Resistència 1k Ω	Resistència del led
	Resistència 1k Ω	Resistència del led
	Resistència 10k Ω	Step-Up del cd del socket μ SD
	Resistència 10k Ω	Step-Down del pulsador d'estat
	Resistència 10k Ω	Step-Down del pulsador de esborrat
	Pulsador	Pulsador d'estat
	Pulsador	Pulsador de esborrar

Taula 2. Components del prototip final

5.1.2. Obtenció dels footprints

S'han buscat acuradament a la pagina web Mouser.es els components escollits en l'apartat anterior. Per a un mateix component, com podria ser una resistència, possiblement es troben varis models de diferents fabricants, en aquests casos, s'ha buscat que el component dispongués de footprint i per el preu. Posteriorment s'han descarregat i guardat els footprints.

La pagina mouser.es permet de forma gratuïta, la creació de "projectes", diferents llistats on es poden anar emmagatzemant els productes escollits. A demés, amb un programa propi, es poden descarregar els footprints dels components i afegir-los a la llibreria d'EAGLE de forma automàtica.

S'ha modificat el nom de certs components per a tindre una certa familiaritat amb els mateixos, al igual que els símbols per a ajustar-los millor als esquemes obtinguts dels mòduls. S'ha revisat també exhaustivament que el patillatge dels footprints i els símbols es corresponguessin exactament al especificat en els datasheets corresponents.

Com es comentarà més endavant, a resultats i conclusions, s'han hagut de demandar dos cops les PCB. En el primer cas, un dels majors problemes ha sigut la mida d'alguns footprints. Certs components, en especial el BME280 o l'interruptor usat, tenen els pads de soldadura sota del seu propi cos i el footprint associat no deixa marge a l'entrada del soldador per a escalfar i soldar el component. Per això, aquests dos footprints, junt amb el del connector USB han sigut modificats i allargats fins fora del cos del component manualment per a solucionar aquest problema.

Aquesta modificació s'ha fet des del propi programa EAGLE, en l'edició de llibreries. On permet des de la creació de nous dispositius, a la modificació dels que ja estan creats. Modificant així el símbol dels esquemàtics, el footprint de la placa o la assignació de diferents footprints (per a diferents packpages) a un mateix dispositiu.

5.1.3. Dibuix dels esquemàtics

S'han dissenyat els esquemàtics del datalogger en un nou projecte d'EAGLE fent un mixt entre els esquemàtics dels mòduls, sols seleccionant els components necessaris, i la connexió que tenien els mòduls entre sí.

Eagle en la versió d'estudiant, al igual que en la professional, permet dins d'un projecte, la divisió dels esquemàtics en pàgines. No es absolutament obligatori, però sí que permet tindre de forma molt més ordenada un projecte.

Les connexions es fan amb la funció *Net*, que permet unir els pins dels components entre ells. També es permet connectar diferents nets entre sí, per aleshores, tots compartiran el mateix nom

També cal remarcar la funció de les etiquetes, que permeten assignar el nom a diferents nodes. Permetent interconnectar els components entre diferents pàgines, o inclús dins de la mateixa sense tindre un excés de cablejat que enterboleixi la vista i en facilita la comprensió.

A continuació s'inclouen els esquemàtics dissenyats.

A la **Fig 33** s'observa el primer dels esquemàtics, que gira al voltant del micro-controlador Atmel328P [15]. Inclou certs components que també té la placa original d'Arduino, com es el boto de resset amb la seva resistència Pull-Up, el oscil·lador de 32Khz (amb els condensadors necessaris integrats) [16], els condensadors per a una bona estabilitat del voltatge i un convertidor de voltatge de 5V a 3.3V [17].

S'ha optat per al micro-controlador un packpage PDIP (montable sobre socket) enlloc d'un SMD per a poder-lo programar des d'una placa arduino i després incorporar-lo al datalogger. Estalviant així, tots els components que serien necessaris per a la connexió UART-serial. Si més, la utilització del espai es important en aquest projecte, el fet de fer servir el encapsulat PDIP enlloc del smd, no és un aspecte crític.

Com s'observa, els pins del micro-controlador estan connectats amb etiquetes a altres nodes que es descriuran més endavant.

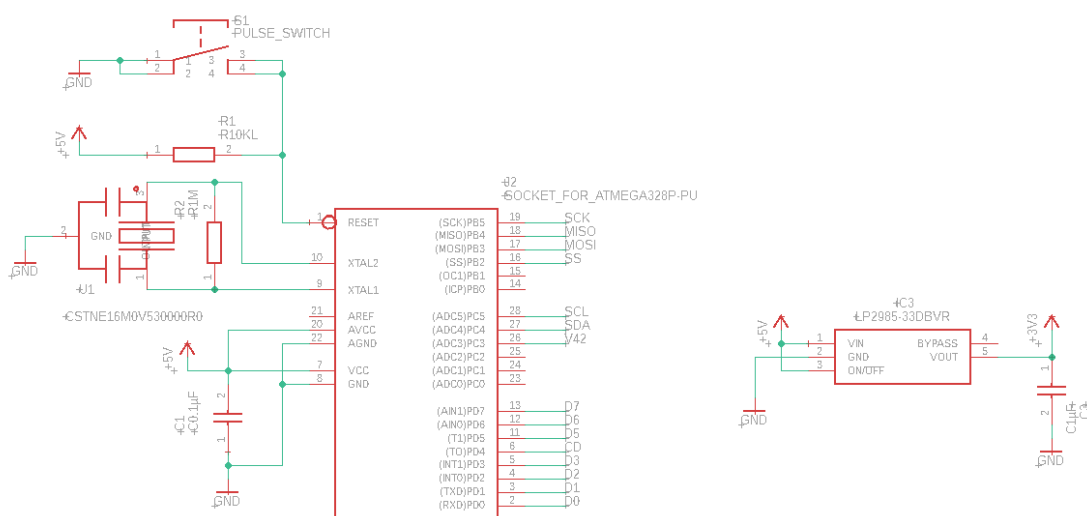


Fig 33. esquema Atmel328P

En la **Fig 34**, s'observen els components RTC (real-time clock) DS13072NZ [18], BME280 [19] i el socket [20] per a la microSD amb el seu level-shifter.

El DS13072NZ es connecta al atmel328 a través del protocol I2C (pins 27 i 28), compta amb dues resistències Pull-Up en la connexió, tal com requereix el propi protocol. Té el seu propi cristall, de 32KHz i una font d'alimentació pròpia, per a mantenir un registre del temps real encara que el prototip estigui desconnectat.

La targeta microSD treballa amb el protocol SPI, però a més, treballa a 3,3V. Això fa que els inputs que li arriben (MOSI, SCK, SS) des del micro-controlador, hagin de ser transformats de 5V a 3.3V, d'això se'n encarrega el CD4050BDR [21], un convertidor d'estats lògics. El seu funcionament és uni-direccional, per el que sols permet rebre els voltatges, no ampliar-los. Per altre banda, els 3,3V entregats com estat alt del pin de sortida de la targeta SD (MISO), són lo suficientment alts com que per que el micro-controlador ho detecti també com estat alt. Per això aquest pin si es connecta directament al Atmel328.

El socket de la targeta compta a més amb el pin CD (Card Detect), una sortida que a través d'un sistema mecànic, quan s'introdueix una targeta, passa d'estat indefinit, a baix.

En l'esquema també es pot veure el BME280, que es comunica amb el micro-controlador a través del bus I2C, però que treballa a 3,3V. Aquest protocol a diferència del SPI, si necessita que la conversió de voltatges sigui bidireccional, i d'això se'n encarreguen dos BSS138, conversors individuals, però bidireccionals. Un per la línia SDA i l'altre per la línia SCL. Cadascun d'ells va acompanyat de dues resistències Pull-Up de 10kΩ. A més d'un condensador per a regular l'entrada del voltatge.

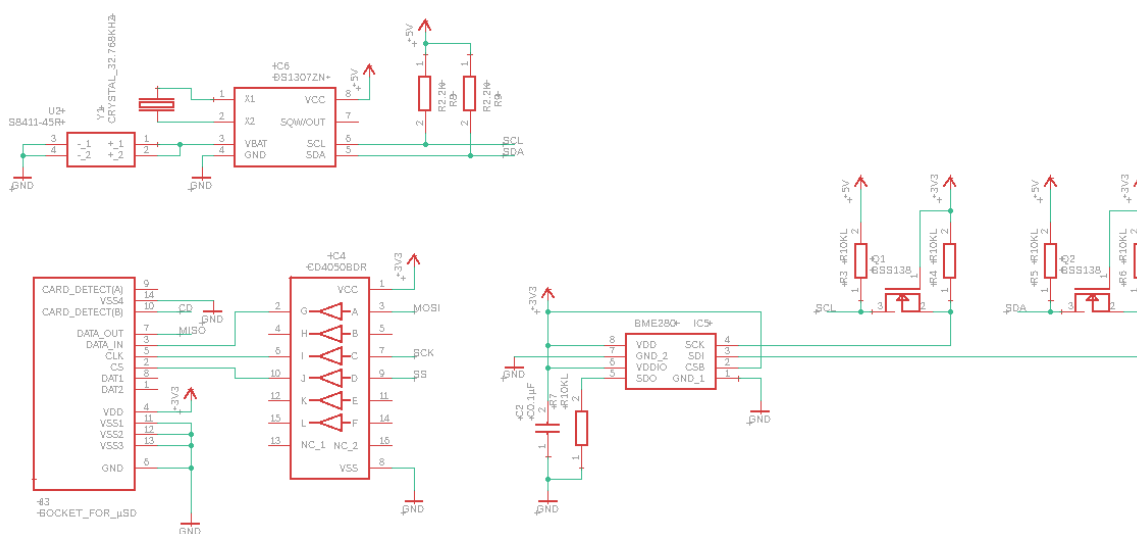


Fig 34. esquema BME280, SD i RTC

En la **Fig 35** s'observen el carregador de la bateria (TP4056), el protector de sobre i descarrega de la mateixa (DW01A) i el boost-converter (LTC3426) per ampliar la seva sortida a 5V, circuit basat en els mòduls usats en el prototip inicial.

L'alimentació del TP4056 es realitza a través d'una entrada microUSB amb un filtratge de 0.1μF. l'Integrat TP4056 consta d'un led que s'encén mentre es carrega la bateria, per a

indicar el seu estat de carrega (independentment de que el prototip estigui encès o apagat) i una resistència de 1.2K connectada al pin Rprog, que es l'encarregada de regular la intensitat entregada per l'integrat. Conté a la sortida un condensador de 10µF per a la regulació del voltatge.

La sortida del TP4056 està connectada al positiu de la bateria, al interruptor de funcionament i al integrat DW01A (a través d'una resistència de 100). El integrat DW01A té connectats entre els pins VCC i GND la bateria i un condensador de 0.1µF (en paral·lel). S'ha de vigilar, que el pin GND d'aquest integrat es refereix al GND de la bateria, no en cap cas al GND del circuit. La comunicació entre aquestes dues masses, la realitzaran els mosfets integrats en el 8205A, que estaran controlats per el mateix DW01A. Aquest control es realitza en funció del voltatge detectat en la bateria ($4.3V > V_{bat} > 2.4V$) i la intensitat detectada en el pin CS. Per això la resistència d'1K.

A la sortida del interruptor es troba l'integrat LTC3426, que es l'encarregat d'elevat el voltatge fins als 5V. Conté un condensador tant a l'entrada com a la sortida per al filtratge del voltatge, un inductor de 2.2µH entre els pins Vin i SW, i un díode schottky entre els pins SW i Vout. El control de Vout es funció del voltatge rebut en el pin FB. Per això implementa un divisor de tensió entre aquests dos pins i GND.

Segons el seu datasheet, $V_o = 1.22 * (1 + R_1/R_2)$, per al cas aplicable la formula quedaria així.

$$V_{out} = 1.22 * \left(1 + \frac{R_{20} (95.3K)}{R_{21} (30.9K)} \right) = 4.9826V$$

La sortida del integrat serà l'encarregada d'alimentar tots els components que funcionin a 5V, així com al regulador de 3.3V.

També cal comentat la connexió entre la sortida del interruptor (net: V42) amb el pin 26 del Atmega328, encarregat de mesurar la tensió de la bateria. Degut a que la bateria no comparteix GND amb tota la resta del circuit, s'ha decidit triar aquest punt per a la seva mesura. Ja que si comparteixen el mateix voltatge quan el prototip està encès.

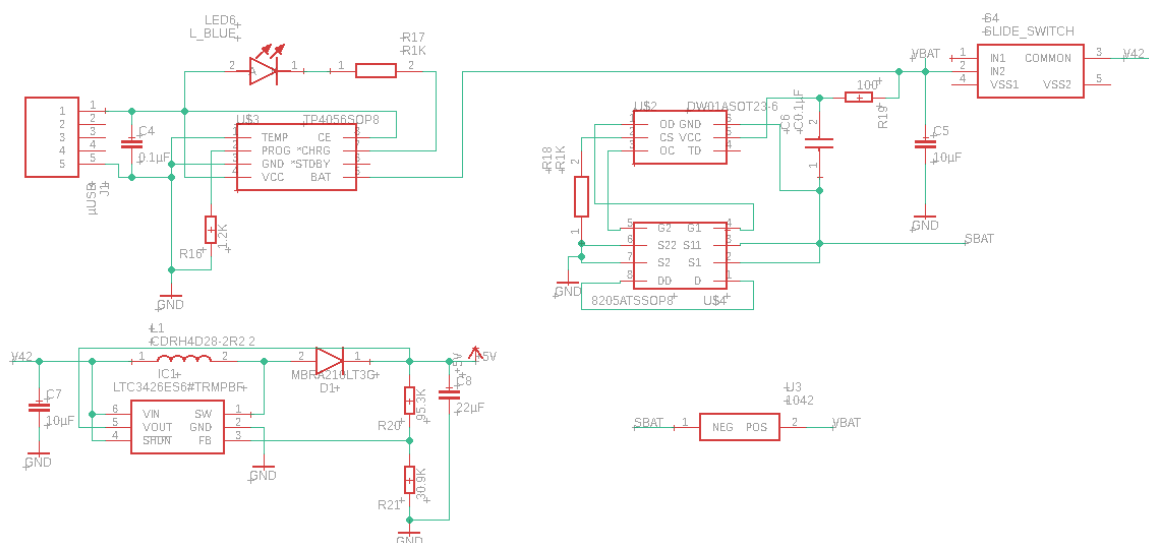


Fig 35. Carregador i convertidor d'entrada

En la Fig 36 es poden observar els botons de start i stop, connectats respectivament als pins 4 i 5 del micro-controlador, amb les seves respectives resistències Pull-Down, per a definir un estat lògic (baix) quan no estan pulsats.

També s'hi troben dos leds blaus connectats als pins 12 i 13 del Atmel328, que son els encarregats d'informar de l'estat de funcionament del dispositiu, així com per avisar d'eventuals errors. Els altres tres leds, son els encarregats d'indicar l'estat de la bateria, s'ha optat per tres leds individuals degut a la dificultat de trobar un RGB del estil SMD amb les característiques volgudes. Independentment d'això, com sols un d'ells ha d'estar actiu en qualsevol dels casos, comparteixen una única resistència per a limitar la intensitat que hi circula.

També es mostra la resistència Pull-Up connectada al pin CD del socket de la microSD, per a determinar un estat lògic (alt) quan no hi hagi cap targeta insertada.

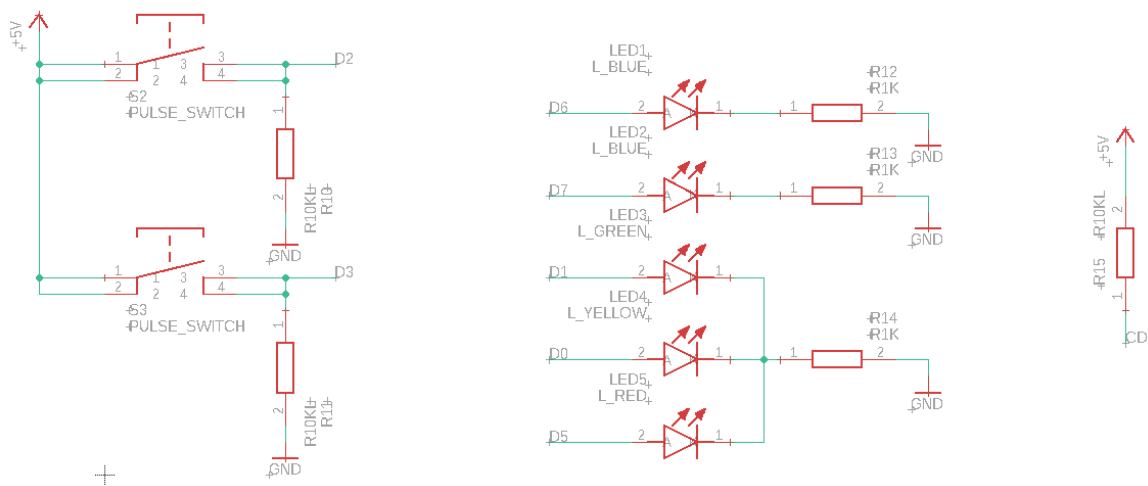


Fig 36. Hardware adicional

Un cop finalitzats els esquemes, convé usar un altre de les eines de EAGLE, el "ERC". Aquesta eina fa un diagnòstic dels esquemàtics i remarca possibles errors i advertències. Per exemple; pins no connectats a cap línia, línies que es toquen entre elles (visualment) però no estan connectades per node entre elles, etc.

5.1.4. Definició de la placa

S'ha pensat com a proposta, dissenyar el prototip de la mida d'un arduino mega, ja que hi ha un sortit força alt de carcasses per ells i els components hi poden entrar, encara que una mica ajustats.

La placa arduino mega fa 4000x2100mil (101.2x53.34mm), s'ha acurtat 2mm la placa, ja que encara així, es conserva la funció de poder-se utilitzar amb les carcasses per al Arduino mega, i a la vegada es manté dins dels marges de 10x10Cm. Cosa que fa que el preu de fabricació de la placa no es dispari.

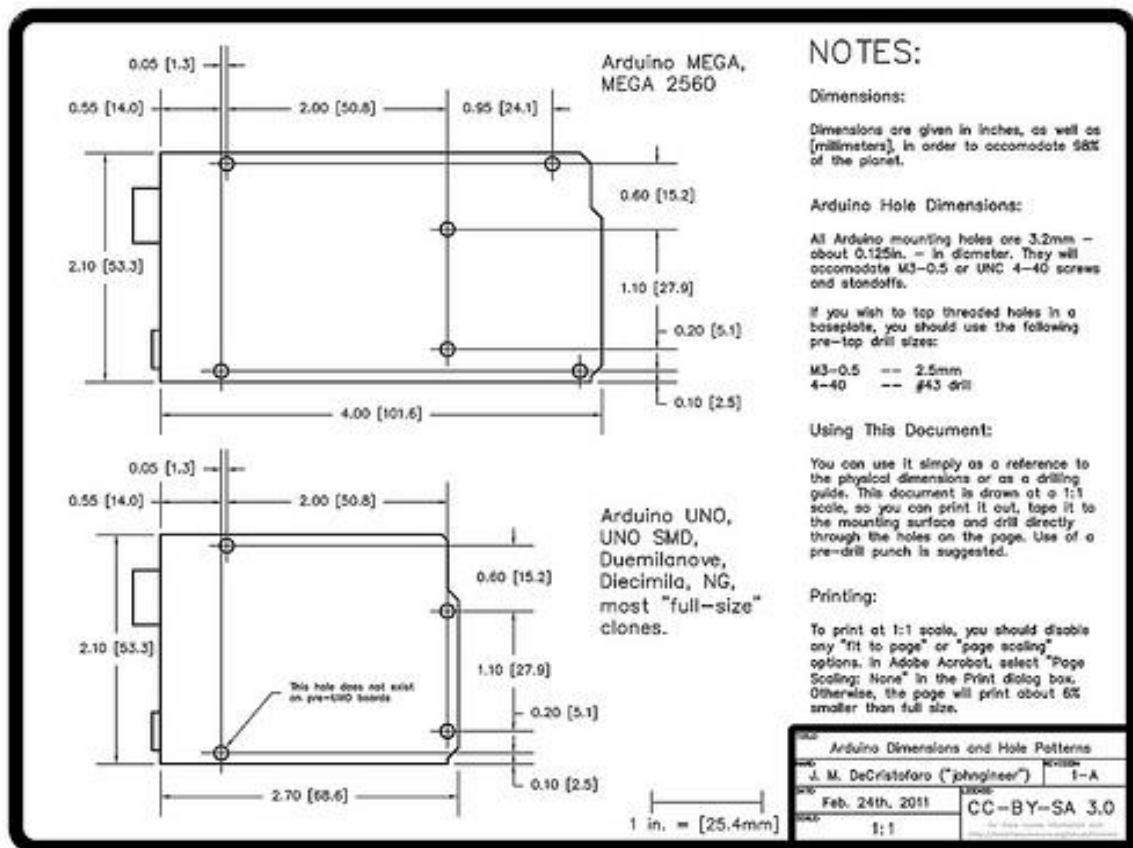


Fig 37. Dimensions arduino mega 2560 [22]

El disseny de la placa es realitza des de la vista *board* de EAGLE, es pot esborrar o redibuixar la placa ja existent. Al visor superior, es selecciona la capa *20-dimension* i seleccionant l'opció *line* o *circle*, es va dibuixant la forma amb la que es vol la placa.

EAGLE disposa al visor superior del *grid*, on es poden ajustar, tant les unitats de mesura, com el valor d'aquestes. Amb aquesta quadricula, es fàcil dissenyar la placa amb la forma i dimensions que un desitja.

5.1.5. Posicionat dels components

Potser aquesta pugui semblar una de les parts més trivials del projecte, però tenint en compte la reduïda mida de la placa i la quantitat de components que ha de contenir, un mal posicionat dels mateixos impediria un bon routejat de les línies impreses.

Els components apareixen automàticament en aquesta vista després d'afegir-los a la vista esquemàtica. Les marques vermelles d'aquests, són els anomenats *pads*, es refereixen a la part de la placa on es soldarà el component. La línia blanca es la mida aproximada del component, a més s'afegeix el nom del component, tal com se'l hagi anomenat en la capa esquemàtica. Es important que el nom no quedi tapat per el propi footprint, o per les pistes dibuixades.

Les línies grogues que uneixen els pads, anomenades de forma correcta *Rats*, són les connexions virtuals realitzades en l'esquemàtic que senyalen quin es el component més pròxim amb el qual un comparteix node. Es important, després de moure algun component, donar a la opció *ratnest* per a que redibuixi aquestes línies de nou.

S'ha optat per amagar el valor dels components, des de *Layer Settings* amagant les capes tValues i bValues. En aquest projecte, no aporten molta informació, ja que el muntatge es fa amb uns components específics i venen marcats per el seu nom. Però en projectes sobretot del estil "do it yourself", pot ser una opció a tindre molt en compte.

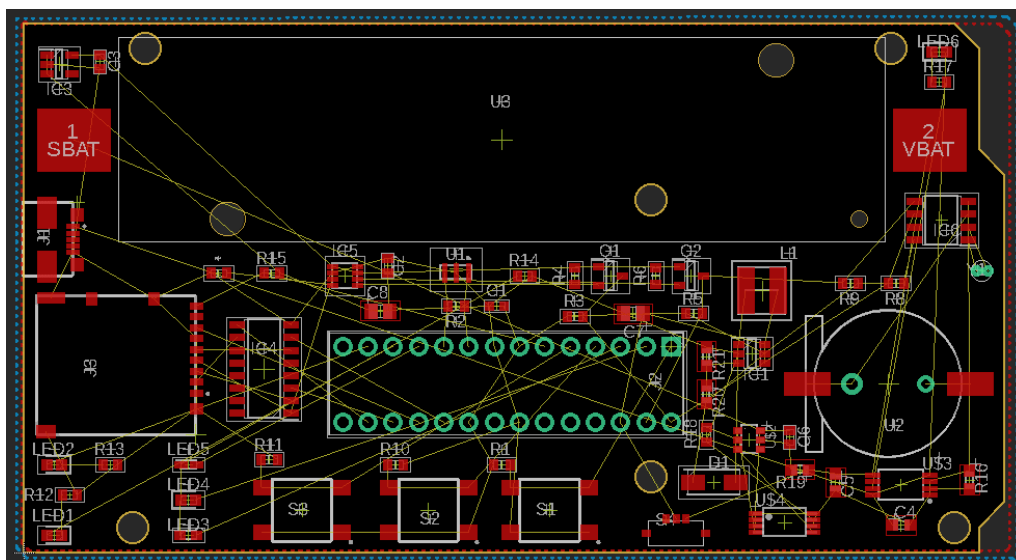


Fig 38. Situació components

Coses importants que s'han tingut en compte, ha sigut allunyar el més possible el sensor dels components que poguessin funcionar com a fonts de calor, com el regulador de voltatge, o intentar la màxima proximitat entre els components sensibles a la variació de voltatge (integrats) o reguladors de voltatge, amb els condensadors que estableixen la seva tensió de funcionament.

5.1.6. Routejat de les pistes

Hi ha certs paràmetres de la placa impresa com l'amplada de pista, distància entre forats o entre les pistes en sí, que depenent de la tolerància o el mínim exigit, poden apujar molt el preu d'impressió de la mateixa. A pesar de ser uns valors que a primera, són definits per cada fabricant de plaques, hi ha uns certs valors establerts mínims en que es basen moltes empreses i que permeten un preu assequible.

En el moment actual, sols es precis fixar-se en l'espaiat i amplada mínim de pistes no sigui inferior a 6mil (0.1524mm) i que els forats en la placa no superin els 0.3mm. Aquest i altres paràmetres es possible fixar-los en EAGLE seleccionant: Tools→DRC. Els paràmetres aquí establerts permeten; per un costat, són els definits per defecte quan EAGLE treballa en mode automàtic, com es el auto-router. Per l'altre, fa un diagnòstic de la placa per a comprovar si tots els paràmetres establerts es compleixen.

La mida de les pistes adequada varia en funció de la intensitat que ha de suportar la pista, ja que si es massa petita, pot acabar cremant-se. En el cas d'aquest projecte, pràcticament tot són senyals electròniques de pocs mili-ampers, per el que el valor per defecte de 10mil és suficient. No és així per a les pistes de potencia, on la intensitat pot arribar fins a 1A. S'ha definit que totes les pistes d'alimentació (des de l'entrada USB fins 5V, ambdues incloses) es realitzin amb una amplada de 16mil, i les d'alimentació de 3.3V (a un màxim de 150mA), es realitzin a 12mil de mida.

El routejat s'ha fet, primer amb una aproximació al mateix amb l'auto-router. Aquest calcula varies opcions possibles de traça de pistes. S'ha optat per a una que no tingués vies en l'espai del socket de la SD, ja que aquest va connectat a GND, i les vies al no estar protegides, podrien crear curt-circuits. Posteriorment, s'ha modificat la mida de les pistes de potencia amb la mida mencionada anteriorment i s'ha modificat la posició d'algunes pistes que entraven en conflicte amb aquesta nova mesura.

S'ha optat per omplir els espais lliures de la placa, tant cara superior com inferior, de GND. Aquest procés millora considerablement la connexió i redueix les EMI (emissions electromagnètiques no intencionals).

Aquest procés es realitza amb la funció *polygon*, que permet el dibuix de figures poligonals i posteriorment demana el nom del node al que han d'estar connectades. En aquest cas, GND. S'ha fet el procés dos cops, seleccionant en cadascun d'ells, en quina capa es volia realitzar (*top* o *bottom*).

Un cop s'ha creat el polígon, fa falta donar a *ratnest* per a visualitzar com queda la distribució.

Al realitzar aquesta funció, és possible que moltes parts de la placa no quedin degudament omplertes de la capa de terra. Això es dona en zones que no tenen accés lliure a GND, ja sigui per altres pistes que en tallen l'accés o forats fets a les plaques. Una forma de solucionar aquest problema, és afegir una via en aquell espai on per una de les cares no hi hagi GND i en l'altre sí, i seleccionant les opcions de la mateixa, dir-li que va connectada a GND.

Finalment s'executa el DRC, que permet veure possibles errors i advertències en els components i/o pistes de la PCB.

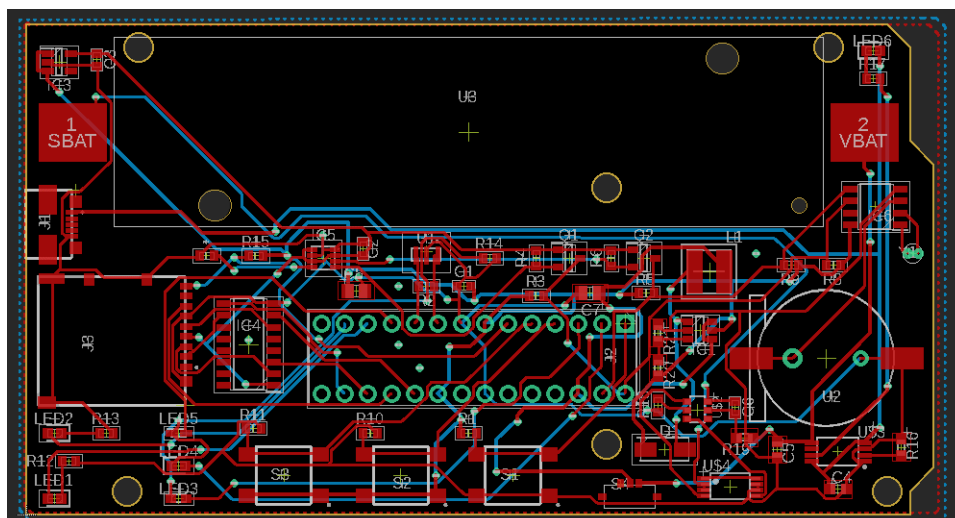


Fig 39. Routejat pistes

En l'Annex 4, es pot trobar el routejat de la placa, a major format, i de cada cara per separat, per a una millor comprensió del connexionat.

5.1.7. Creació de gerbers

Els gerbers son els fitxers amb el que treballen moltes manufactures per al processat de les PCB, a dia d'avui, el format gerber més utilitzat, i el que es fa servir en el projecte, es el RS-274S.

Els arxius Gerber normalment es guarden en una estructura determinada, on cada arxiu conté un processat específic en la placa.

Profile	Delimita la mida de la PCB
Drills	Marca els forats que tindrà la PCB
Cooper	Marca el dibuix de coure que ha de tenir la placa
Silkscreen	Serigrafia amb la que compta la placa. Com el nom dels components
Soldermask	Marca el dibuix de la pel·lícula protectora que tindrà la PCB
solderpaste	Marca els pads dels components SMD, es adequat per a la creació del "stencil", una eina que ajuda a repartir adequadament l'estany líquid quan es solden els components per aire calent.

Taula 3. Fitxers Gerber

L'arxiu Drills forma part dels gerbers, però té una extensió diferent, ja que no té tant a veure amb la impressió de la PCB, sinó més al fresat i perforat de la mateixa.

Excloent els arxius drills i profile, tots els demes arxius estan duplicats amb *_top, *_botom, depenent de si es parla de la capa superior o inferior. Es possible que l'arxiu Cooper tingui inclús més de 2 arxius, per a plaques amb pistes internes (més de dos capes). Però no es recomanable la fabricació d'aquests tipus de plaques si no es estrictament necessari. Es una tecnologia força cara.

S'ha observat que en el mateix EAGLE, fa unes quantes versions, crear els gerbers no era complicat, però si una feina bastant lenta i repetitiva. Cada arxiu es tenia que generar manualment, incloent en ell les capes desitjades del projecte.

En la versió actual (9.3.2), crear els gerbers es tan fàcil com donar-li al "CAM processor". Automàticament mostrarà tots els fitxers dels Gerbers, per si es vol revisar que està tot com hauria d'estar, donant-li a "Process job", el programa guarda al directori seleccionat la carpeta CAMOutput. Aquesta conté tots els gerbers necessaris que una empresa necessita per a fabricar a PCB.

5.1.8. Disseny de la carcassa

Es possible que el disseny de la carcassa del producte pugui excedir del abast del projecte, més estant aquest dedicat a la branca purament electrònica, però degut al temps mort en l'espera d'entrega dels components (vinguts de E.E.U.U.) i les plaques impreses (vingudes de Xina), i la intencionalitat de dur a terme el projecte el més enllà possible, s'ha decidit dissenyar una carcassa acord amb la placa fabricada.

En l'apartat 5.1.4, s'ha comentat d'usar una placa amb unes mides quasi idèntiques al arduino Mega, però degut a l'alçada de la bateria que incorpora, no es possible fer servir la majoria de carcasses dissenyades per aquest model d'Arduino. Sols son utilitzables les carcasses dissenyades per a la incorporació d'un Shield. Inclús en aquest cas, els botons disposats en la PCB no serien accessibles sense desmuntar la carcassa, així com tampoc ho serien les entrades exteriors, com el connector µUSB de carrega i el socket per a la µSD.

Aquest es el motiu per el que es creu convenient crear una carcassa dissenyada específicament per al prototip a fabricar. L'eina d'edició emprada ha sigut el programa CATIA V5, un dels programes de modelatge 3D més potents utilitzats a dia d'avui en l'indústria.

El procés de disseny de la carcassa ha partit de l'adaptació de carcasses ja existents per al arduinoMega al nostre model de datalogger. Parametritzant primerament la PCB del prototip amb els components més rellevants muntats.

En la **Fig 40** s'observa com ha quedat la placa un cop parametritzada, es pot veure la forma característica de la placa amb els forats per als cargols de subjecció a la carcassa. Consta d'un bloc que representa el socket de la bateria i la pròpia bateria que incorporada el prototip final, a més dels 3 botons, el connector µUSB, el socket de la µSD i l'interruptor de funcionament.

Les mesures de la placa i la posició de cadascun dels components ha sigut extreta de la visió "board" de EAGLE, mentre que l'altura i forma de cadascun dels components ha sigut allada en el seu datasheet corresponent.

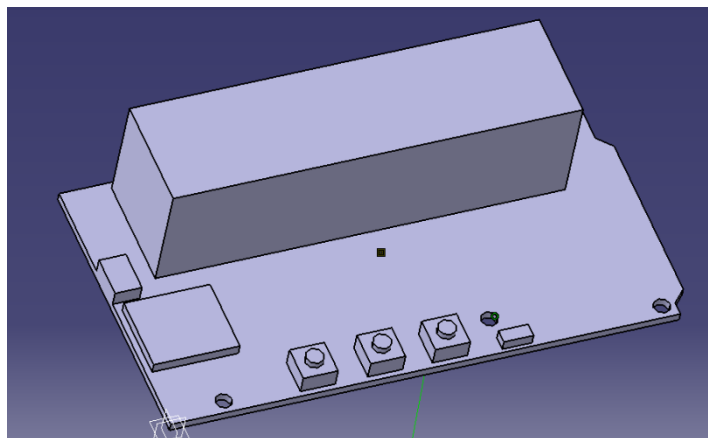


Fig 40. PCB datalogger 3D

Seguidament s'ha passat a crear la carcassa pròpiament dita, prenent com a exemple un model ja creat però amb les demandes específiques del nostre model de placa. En la **Fig 41** es pot veure una carcassa per al model d'ArduinoMega.



Fig 41. Carcasa ArduinoMega

Com s'observa en la **Fig 42**, la nova carcassa consta amb els forats per als cargols de subjecció amb els que contava el model original. La mida de la carcassa també es el mateix, obviant els 2mm de menys que té la PCB del projecte. Si més, es fa evident que tres dels sis forats de subjecció de la placa no son accessibles degut a la mida del socket de la bateria, si son necessaris per a fer de topall i mantenir la placa a l'altura adequada. Consta amb unes estructures laterals per a centrar la placa al mig de la carcassa i unes petites llengüetes per a mantenir la placa subjecte sense la necessitat de cargols. També té unes llengüetes semblants per a mantenir subjecte la part superior de la carcassa.

Fins aquest punt, tots els valors son quasi idèntics als del model de referencia de la carcassa del ArduinoMega, si s'ha agut de refer les entrades laterals per a permetre un bon accés als espais manipulables. Com son l'entrada μ USB, el socket de la μ SD i l'interruptor d'encesa.

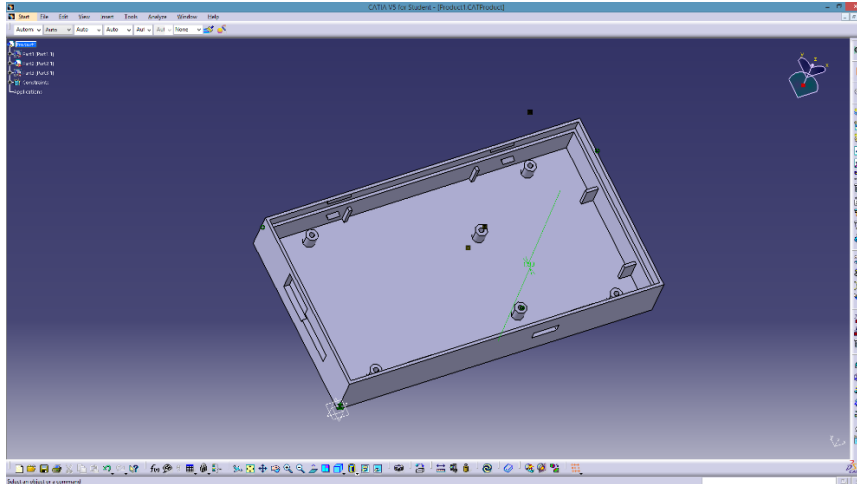


Fig 42. Disseny inferior carcassa

La part superior de la carcassa, **Fig 43**, també està basada en el model de referència. Però en aquest cas s'ha hagut de desplaçar i triplicar l'accés dels botons, així com eliminar les entrades als pins (que el prototip final no té), substituint-los per petits forats de respiració, per a la bona mesura de les dades del sensor. Compta amb uns forats per a la bona subjecció les llengüetes de la part superior.

La part més complicada de realitzar, ha sigut donar-li l'altura suficient per a que no xoques amb el socket de la bateria del datalogger, i a la vegada els accessos als pulsadors tinguessin l'altura justa per a poder-los pulsar de forma eficaç.

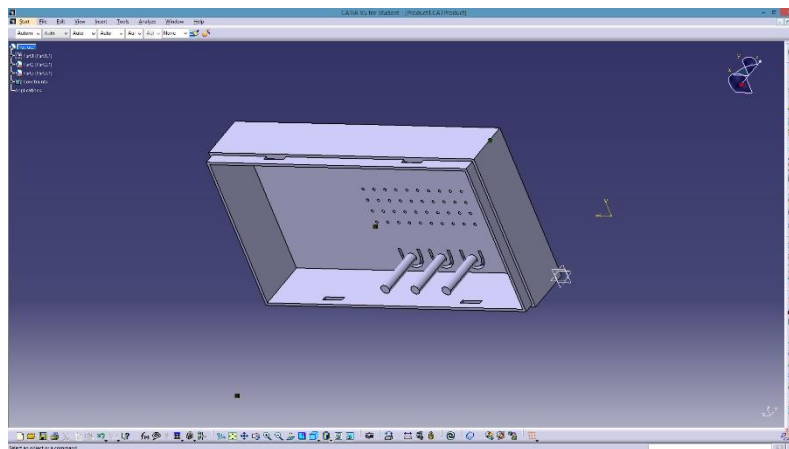


Fig 43. Disseny superior carcassa

En la **Fig 44** es pot observar el disseny de la carcassa al complet amb tots els seus elements, es mostra també el prototip per a que es vegi com quedaria un cop fabricat.

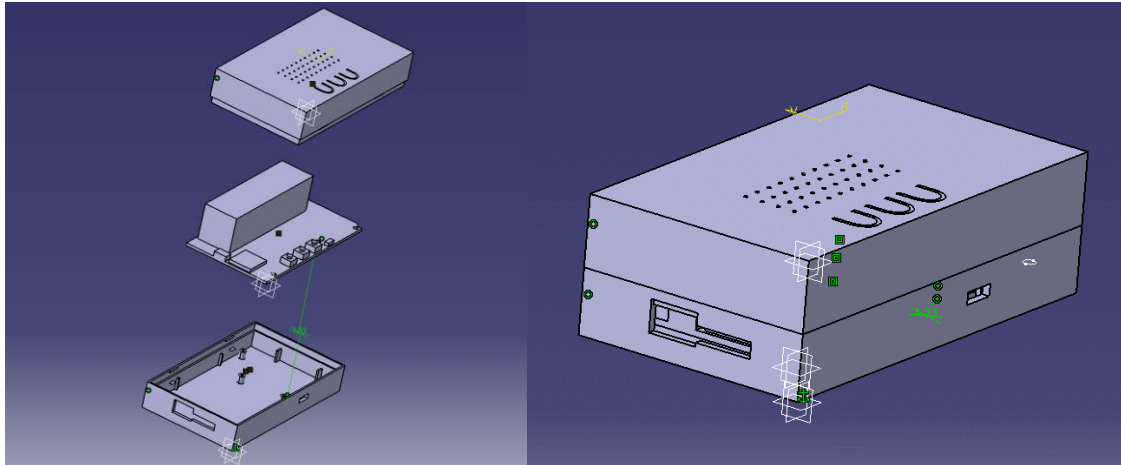


Fig 44. Carcassa completa

Els plànols del disseny de la carcassa es poden trobar en l'Annex 5.

5.2. Fabricació del prototip final

5.2.1. Demanda de components

Amb els gerbers creats i el BOM (llista de components), s'ha decidit muntar la placa. Entre les opcions, estava que la mateixa empresa imprimís la placa i montés els components, o enviar a imprimir la placa, demanar els components i muntar un mateix el prototip.

S'ha triat la segona opció per dos motius contundents. El primer, es que, muntant un mateix la placa, es pot fer un diagnòstic pas per pas de que els components funcionen correctament i que el footprint es l'adequat. Altre motiu, era que el preu es disparava. Costant el muntatge de la placa (peces i placa apart), mínim 250€.

La placa s'ha demanat a jlcpcb.com. Una empresa situada a Xina amb un volum de facturació massiu i últimes tecnologies en la fabricació de PCB. Això permet demanar plaques de gran qualitat i temps de producció aproximats de 2 dies, a preus irrisoris. A la **Fig 45** es pot veure la presentació del lot de plaques rebudes.



Fig 45. PCB

El conjunt de 5 plaques (mínima demanda), ha costat 1.78€. Despeses d'enviament apart, on en principi, eren 20.44€. però després de passar per aduanes, s'ha elevat a 44.43€. En total, ha sortit per 46.21€.

Els components han sigut demanats a Mouser.com, al ser la mateixa empresa d'on s'ha tret la informació i footprint dels components, ja es tenia el llistat del BOM i els seus preus son força competitius.

La suma del BOM pujava a 37€ i totes les demandes son amb enviament urgent de 20€. Les compres superiors a 50€, contenen amb enviament gratuït. Per el que s'ha optat per inflar el BOM, demanant certs components difícils de trobar, per duplicat o triplicat (per si algun es trencava). Fins a superar els 50.00€ (abans d'impostos).

Com s'observa a la **Fig 46**, els components han sigut embalatats i etiquetats de forma molt precisa. Però per el costat ecològic, es creu exorbitant el plàstic total usat per al empaquetatge.



Fig 46. Components Mouser

5.2.2. Muntatge de components.

Els components han sigut muntats en la placa mitjançant soldador d'estany de punta molt fina, ajudat amb pasta FLUX per a un bon repartiment del calor i estany de 0.55mm. S'està parlant de components excessivament petits, i hagués sigut molt complicat muntar-los sense subjectar-los amb pinces i una bona lupa per a veure'ls.

Cada component, al moment de ser soldat ha sigut tatxat del BOM, per a un bon seguiment dels components muntats i restants.

El muntatge de components manualment ha sigut força laboriós degut a que pràcticament tots els components eren SMD (muntatge superficial), però a valgut la pena per a detectar petits errors en el disseny de la placa.

S'han demanat alguns components per duplicat per a la fabricació del prototip, principalment per temes econòmics. Però durant el muntatge dels mateixos, algun s'ha cremat mentre es soldava i algun altre, s'ha curtcircuitat per un error en la definició del seu footprint. El preu unitari dels mateixos es força barat, però la demanda dels mateixos, apart del temps, pot ser bastant car.

Això demostra la necessitat de tenir la previsió de demanar components per duplicat en certs casos.



Fig 47. Datalogger muntat

5.2.3. Posada en marxa

5.2.3.1. Programació del bootloader del AtMega328P

El micro-controlador AtMega328 adquirint es pot considerar com a verge, no compta amb el bootloader necessari per a interactuar correctament amb el IDE d'Arduino.

L'IDE d'Arduino per això, si compta amb les eines necessàries per a gravar aquest bootloader en els micro-processadors. Tot seguit s'expliquen els passos necessaris.

Primerament, precisar que s'utilitzarà una placa arduino, que farà de *master* (programador) i una segona placa (amb el micro-processador a programar) que farà de *slave* (programat). En l'arduino *master* es carregarà el programa "ArduinoISP", que es troba entre els exemples de sèrie.

Seguidament, amb el *master* desconnectat de l'ordinador, es connecten les dues plaques ArduinoUno entre elles. Les connexions d'alimentació (Vcc i GND) i el bus SPI (pins 11, 12 i 13) el pin 10 del *master* es connecta al pin Rreset del *slave*.

Finalment es torna a connectar el master al ordinador i es configura el IDE correctament. En l'apartat "tools" es selecciona el model de la placa ArduinoUno, com a programador es selecciona "Arduino as ISP" i finalment es clica "Burn bootloader". Si tot es correcte, s'informarà al usuari per mitjà del monitor del propi IDE.

*cal remarcar que el programa està destinat a la plataforma Arduino, per molt que aquest es parli de plaques exclusivament, tot el procés que realitza es sobre el processador que aquestes incorporen.

Finalment, es pot extreure el AtMega328 de la placa Slave per a ser instal·lat posteriorment en el prototip final.

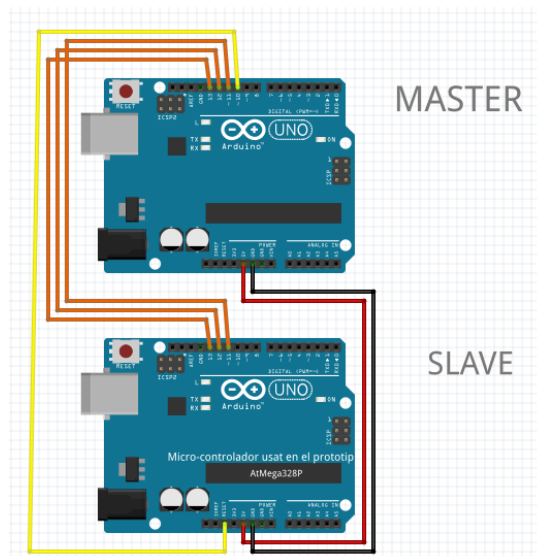


Fig 48. Connexió per a gravar bootloader

5.2.3.2. Programació del DS1307 (RTC)

El rellotge en temps real que incorpora el prototip necessita dues coses essencials per al seu correcte funcionament. La primera es una alimentació continua per a realitzar els seus processos interns. La segona, es la programació de la data i hora exactes en el mateix, mentre aquest està connectat a l'alimentació continua.

El principal problema es que el programa utilitzat per a calibrar el RTC usa la data i hora subministrada per el IDE d'Arduino a la hora de compilar-lo, per el que es necessari compilar el programa, transferir-lo al AtMega328P i que aquest estigui connectat via protocol I2C al RTC (mentre aquest manté l'alimentació de 3v) tot a la vegada. Ja que el prototip no té possibilitat de connectar-se via Serial amb l'ordinador, no es possible programar-lo així.

La solució a sigut realitzar un pont entre un ArduinoUno el prototip per els pins d'alimentació (5v i GND) i els pins del protocol SPI (A4 i A5). **Fig 49.**

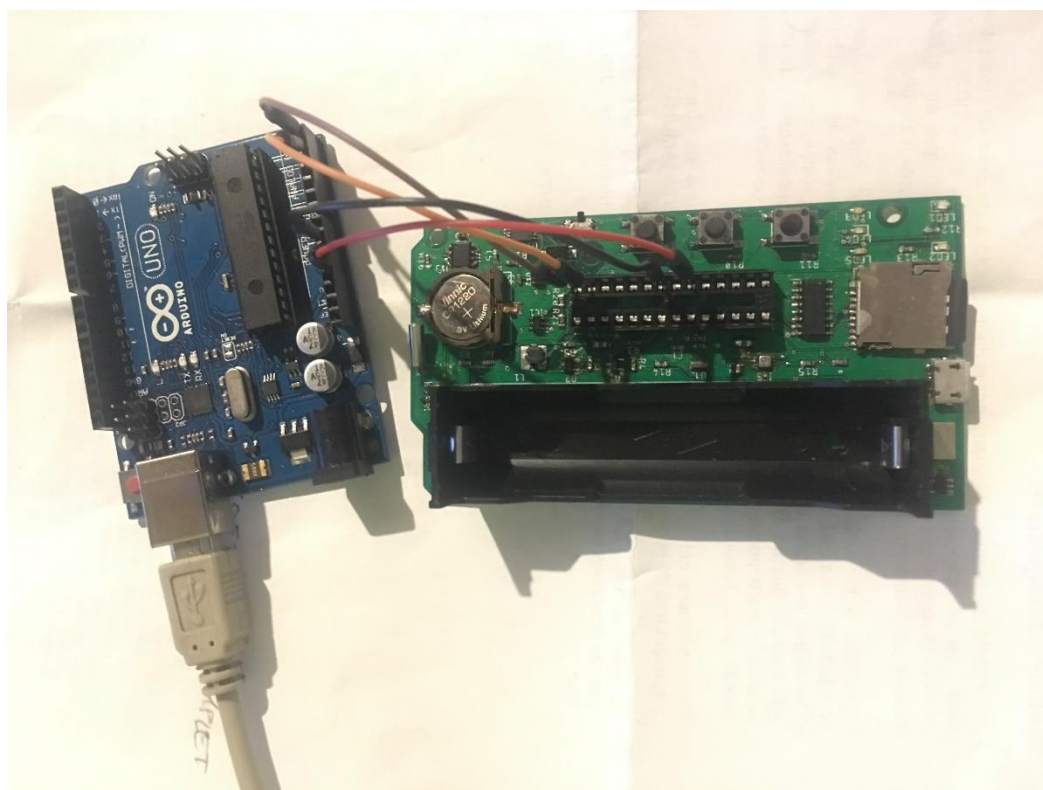


Fig 49. Connexió calibració RTC

Aquesta connexió permet la calibració del RTC de forma correcte mitjançant l'IDE d'Arduino, i que aquest mantingui la connexió permanent de 3v.

Com s'ha explicat breument als parrafs anteriors, el programa l'únic que fa, es modificar els registres del RTC amb els valors de data i hora amb els que està configurat el PC. Si hi ha un paràmetre que s'ha de posar manualment, ja que la llibreria usada no es capaç d'extreure-l del ordinador (el dia de la setmana).

Dia_datalogger.ino

```

#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"

RTC_DS1307 rtc;

void setup() {
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(0x68); //I2C device address
  Wire.write((uint8_t)0x03); //I2C register address
  Wire.write((uint8_t)0x05); //Numer of the day (0x01-Monday and 0x07-Sunday).
  Wire.endTransmission();
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); //adjust data and time registers
}
void loop() {
}

```

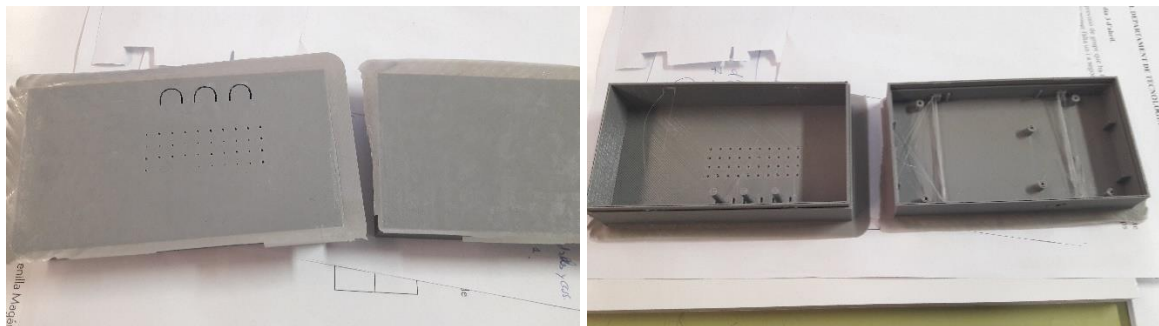
Fig 50. Codi per calibrar RTC**5.2.4. Fabricació de la carcassa**

La carcassa ha sigut fabricada per un tercer per impressió 3D, per el que el procés d'impressió no es contemplarà dins d'aquest projecte.

Si es convenient comentar el preu per hora d'impressió, així com les hores necessàries per a imprimir la carcassa. Sent aquests 1.70€/h el preu d'impressió i 7h el temps necessari. A aquest preu se li han de sumar els preparatius d'impressió (escalfar el lit, estructures auxiliars i etc.) que pugen a 5€.

El preu total de la fabricació de la carcassa puja a un total de 16.90€.

Tot seguit es poden veure un parell d'imatges de la carcassa un cop impresa, a aquesta li falta sols treure els sobrants amb l'ajut d'un Cúter.

**Fig 51.** Carcassa impresa

6. Resultats

6.1. Probes de inicials

Un cop acabats tots els passos mencionats en tots els apartats anteriors, s'ha passat a fer les probes de funcionament necessàries per a comprovar el bon funcionament del prototip final.

Primerament, s'ha comprovat que el datalogger fes la feina indicada. Gravar les dades adquirides amb el sensor quan se li demanava a través del boto "run", parar quan es pressiona el mateix boto i el esborrat de les dades quan es pressiona el boto "reset".

Això s'ha fet amb l'ajut d'un ordinador per a llegir la targeta, i assegurar la bona escriptura de les dades.

Un petit incís que cal fer, es que s'ha comprovat experimentalment que entre que s'encén el datalogger i s'inicia el procés de registrament de dades, se ha de deixar uns pocs segons per a que el processador processi correctament el bootloader. (el bootloader instal·lat es força complex d'explicar, però resumidament i per al que procedeix en aquest cas, el que fa el bootloader es mantenir en espera el micro-processador un curt període de temps quan aquest s'inicia per si hi hagués una entrada del convertidor USB-Serial "AtMega1602" de la placa ArduinoUno).

El fet d'iniciar el registrament de dades quan el bootloader encara s'està executant provoca un error en el procés de gravació de dades en la targeta. En aquest cas, la solució es pressionar el boto de reset amb el que compta el prototip, esperar a que finalitzi el bootloader e iniciar de nou el registrament de dades amb el boto run.

Aquest error es indicat clarament amb el led indicador d'errors, per el que no hi ha perill de confondre's i pensar que es guarden dades quan realment no es així.

6.2. Probes de precisió i fidelitat.

S'ha verificat si les dades recollides per el datalogger fossin les corresponents al entorn en el que es troba. Això s'ha aconseguit amb l'ajut d'una cambra climàtica, de temperatura i humitat controlades, propietat de la UPC (Fig 52). Es creu que es la forma més correcte per a tindre un patró amb que comparar les dades obtingudes.



Fig 52. Cambra climàtica

S'ha començat estabilitzant la cambra a les condicions ambientals (24°C i 43%), seguidament s'ha augmentat la humitat fins al 61.3%, mantenint la temperatura constant. S'ha augmentat la temperatura fins a 40°C, mantenint la humitat constant i finalment s'ha baixat temperatura i humitat fins a 15.8°C i 29.1% respectivament.

En la Fig 53 es pot observar amb asteriscos les dades reals de la cambra climàtica i una gràfica de les dades recollides per el datalogger. S'ha de tenir en compte els llargs plaços de temps entre mesures estables, ja que la cambra triga un temps considerat en arribar i estabilitzar-se en els valors demanats.

També es adient comentar que hi ha una relació intrínseca entre la temperatura i la humitat, variar un paràmetre mantenint constant l'altre, per a la cambra usada es pràcticament impossible. Simplement regula els dos paràmetres buscant un equilibri fins arribar a la consigna demandada.

La gràfica demostra una bona correlació entre els valors reals de la cambra i els adquirits per el prototip. Si fa falta mencionar que les dades obtingudes per el RTC en algun cas estaven malmeses (any, dies i hores amb valors completament aleatoris), i s'han hagut de modificar manualment per a obtenir gràfiques coherents en Matlab.

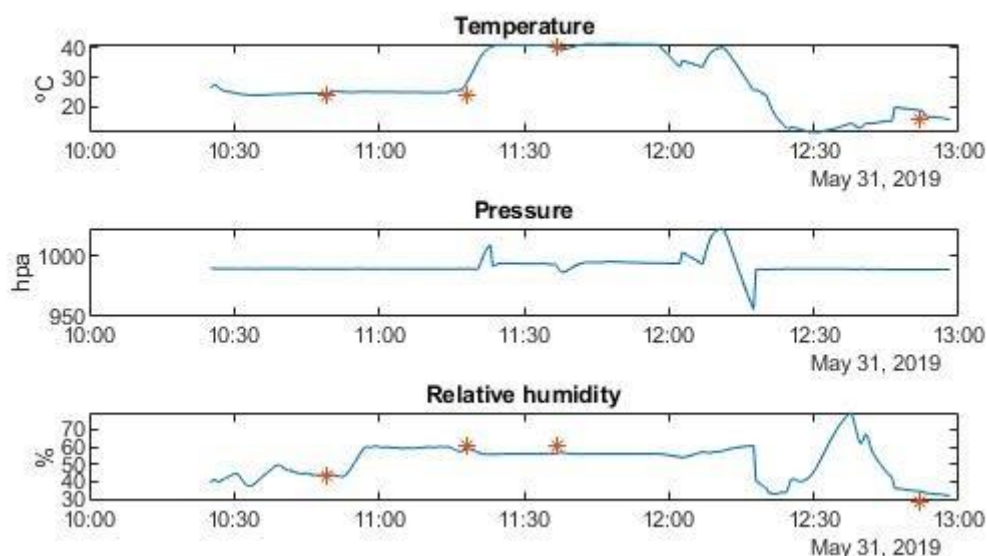


Fig 53. Resposta de datalogger en cambra climàtica

6.3. Probes d'alta duració.

S'ha provat el datalogger durant el màxim temps suportat per la bateria fora al balcó. Com es pot observar a la Fig 54, la duració es aproximadament de dos dies.

Es pot observar un temps de transició entre les 18:32h i les 22:19h. Aquesta transició es que el datalogger es va desconnectar, fins a que es va tindre constància del error i es va reiniciar manualment. Els pics de temperatura i humitats quan s'inicia el datalogger es degut a que ha registrat els valors de dins del habitatge fins que s'ha tret fora al balcó i el prototip s'ha aclimatat.

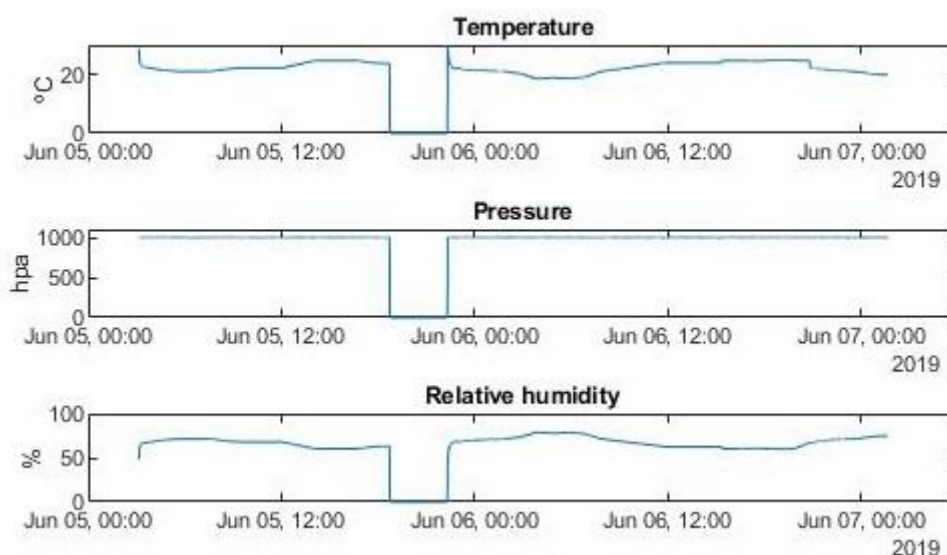


Fig 54. Proba 48h

Gràcies a aquesta prova, s'ha detectat un altre detall a tindre en compte. La prova del datalogger s'ha fet amb el producte dins la carcassa dissenyada per al mateix.

La carcassa del prototip ha sigut impresa en PLA per temes econòmics, s'ha observat que aquesta, degut al sol i temperatures ha tingut certes deformacions. (Finalitzada la prova, es va recollir el datalogger, però per descuit, es va deixar la part superior de la carcassa al balco i a l'abast del sol).

S'aconsella llavors, al utilitzar el prototip, vigilar que les temperatures no superin els 40, ni que el sol incideixi de forma directe. (el PLA es comença a deformar als 60°C).

De cara a la industrialització del producte es tindrà en compte el usar un plàstic amb resistències tèrmiques superiors (c. ex. ABS o PP).

7. Procés d'industrialització del datalogger.

La intenció primera del projecte consisteix en crear un datalogger funcional capaç de ser fabricat a mitjana o gran escala, si més, s'ha vist que el pressupost invertit en el muntatge del prototip (sense comptar el disseny inicial, el cost de desenvolupament ni la ma d'obra de muntatge) ascendeix a 135.99€.

Aquest preu a priori es excessivament car per a les característiques d'aquest datalogger, però com es veurà tot seguit, quan es fabrica un producte a mitjana o gran escala, aquest preu es redueix de manera dràstica.

S'ha fet una estimació d'una tirada de 10.000 unitats per a fabricar, el preu de cadascun dels productes està detallat de forma acurada en el pressupost del projecte.

La majoria dels components muntats sobre la placa han sigut comparats en la mateixa empresa on es van adquirir per al muntatge del prototip (Mouser). Mentre que per al prototip aquests es pagaven al preu marcat, si la demanda dels mateixos es multiplica per 10.000, en el pitjor dels casos la rebaixa es del 30% i en el millor d'ells, del quasi 90%.

La demanda de les plaques aquest cop s'ha pressupostat en la pagina web PCBWay.es, ja que aquesta empresa compta també amb el servei de muntatge de components.

Si bé anteriorment s'havia descartat el muntatge dels components per part d'una empresa externa per el preu excessiu del mateix, s'ha observat que per a tirades llargues de plaques aquests preus son quasi irrisoris. Sent per a 10.000 unitats processades, aproximat 0.45€ la impressió de cada placa i prop de 0.51€ el muntatge dels components.

Cal obviar que aquests preus son amb la condició de que els components usats en el producte els proporciona el client, no l'empresa.

Per a la fabricació de la carcassa, a través de la pagina Alibaba.com (una pagina dedicada exclusivament a la compra-venta al major) s'ha trobat un anunci d'una empresa d'extrusió xina que fabrica carcasses personalitzades per el client a 0.50€ la unitat (a partir de 100 unitats). L'empresa en qüestió es "Shanghai Qinuo Industry Co.Ltd". Permet també triar el material del producte.

Per últim, s'ha suposat de manera el més realista possible, un preu que englobés les instal·lacions, personal i altre material necessari (com ara l'embalatge) per a donar l'acabat final la producte.

Amb el pressupost mencionat per a una tirada de 10.000 unitats, el preu de fabricació de cada producte seria de 26.62€. Un preu que inclús després de guanys, distribuïdors e IVA, seguiria sent competitiu amb els productes actuals del mercat de prestacions similars.

En l'Annex 6 es poden trobar els pressupostos realitzats per a aquest projecte.

8. Planificació

S'adjunta tot seguit el calendari de planificació vs realització (**Taula 5**) seguit durant tot el treball de final de grau. Està marcat en gris el temps que es pensava que es dedicaria a cada part del projecte, mentre que en taronja el temps real dedicat a cada part. Les franges estan delimitades per setmanes, ja que sent un projecte d'un quadrimestre de duració, no té sentit aportar informació més detallada.

Es poden veure uns salts força peculiars entre els apartats de “disseny de la PCB” i “muntatge de components”, això es degut a que les plaques de circuit impreses es van hagué de demanar dos cops degut al mal disseny del footprint d'un dels components (BME280).

En la columna de la dreta estan remarcades les dates més importants del projecte, el dia exacte del esdeveniment està marcat en la llegenda que acompanya al calendari de planificació (**Taula 4**).

13-feb.	Matricula TFG.
8-mar.	Entrega Project Chapter.
29-mar.	Entrega 1er Seguiment.
26-abr.	Entrega 2on Seguiment.
17-may	Entrega 3er Seguiment.
10-jun.	Lliurament final.
8 to 19 jul.	Defensa davant tribunal.
	Data prevista de realització
	Data real de realització

Taula 4. Llegenda Planificació

Activitat	Duració	D. Inici	D. Final	14-ene.	21-ene.	28-ene.	4-feb.	11-feb.	18-feb.	25-feb.	4-mar.	11-mar.	18-mar.	25-mar.	1-abr.	8-abr.	15-abr.	22-abr.	29-abr.	6-may.	13-may.	20-may.	27-may.	3-jun.	10-jun.	17-jun.	24-jun.	1-jul.	8-jul.	15-jul.
Estudi del estat de l'art	2	14-ene.	27-ene.																											
	2	14-ene.	27-ene.																											
tria dels components	2	28-ene.	10-feb.																											
necessaris per al prototip	1	28-ene.	3-feb.																											
esquema de muntatge i	1	11-feb.	17-feb.																											
connexió del prototip	3	28-ene.	17-feb.																											
Muntatge dels components	1	18-feb.	24-feb.																											
	1	18-feb.	24-feb.																											
Programació del prototip	3	18-feb.	10-mar.																											
	3	18-feb.	10-mar.																											
Probes de funcionalitat del	1	11-mar.	17-mar.																											
prototip	1	11-mar.	17-mar.																											
estudi i tria dels	1	18-mar.	24-mar.																											
components necessaris per	1	18-mar.	24-mar.																											
al disseny	2	18-mar.	31-mar.																											
busqueda del footprint i	2	25-mar.	7-abr.																											
distribuïdor dels	2	25-mar.	7-abr.																											
components	2	18-mar.	31-mar.																											
	3	8-abr.	28-abr.																											
Disseny de la PCB	3	8-abr.	5-may.																											
	3	8-abr.	5-may.																											
Generació dels gerbers	1	22-abr.	28-abr.																											
	1	22-abr.	28-abr.																											
Comanda de components	2	15-abr.	5-may.																											
	2	22-abr.	5-may.																											
Disseny carcassa del	4	15-abr.	19-may.																											
prototip	2	29-abr.	12-may.																											
	2	29-abr.	12-may.																											
Muntatge del prototip	3	29-abr.	19-may.																											
	3	29-abr.	19-may.																											
Probes de funcionament	1	20-may.	26-may.																											
del prototip final	1	20-may.	26-may.																											
	1	20-may.	26-may.																											
Redaccions finals	2	27-may.	9-jun.																											
	2	27-may.	9-jun.																											
	2	27-may.	9-jun.																											

Taula 5. Calendari de planificació

9. Conclusions

Per a concloure aquest projecte, es creu corresponent fer certes valoracions, tant personals sobre el desenvolupament del treball, com tècniques e imparcials sobre el resultats obtinguts.

9.1. Valoracions personals

Al iniciar el projecte, es tenia sols una idea de que es volia aconseguir amb el mateix, però no la forma, els passos a seguir o de que constaria el producte final.

El desenvolupament ha resultat en gran part d'ell, una corba d'aprenentatge exponencial, on si, en els primers passos, amb un mínim de coneixement de programació sobre el IDE d'Arduino era més que suficient, en els últims passos s'han agut de tindre en compte la inter-connexió entre desenes de components, compres a proveïdors professionals o l'aprenentatge d'un software completament desconegut.

Finalment, si be els resultats tècnics no son tant satisfactoris com es s'esperava, si es té molta satisfacció del treball realitzat durant tot el projecte. Cada problema trobat durant la realització del mateix, ha sigut una nova oportunitat per a millorar en coneixements i habilitats.

9.2. Conclusions tècniques

El propòsit inicial del projecte ha sigut acomplert, s'ha dissenyat un prototip de datalogger funcional per enregistrar dades atmosfèriques. A més, aquest prototip es fàcilment produïble a gran escala, gràcies al seu disseny.

El principal inconvenient per això, es una mala optimització tant del consum, com de la memòria interna del micro-processador. Sent aquest segon, un aspecte despreciable degut a que es un sistema embeded, sense possibilitats de connexió o modificació. Però el propòsit de consum si es un aspecte crític, sobretot en un projecte com aquest, on un dels seus punts forts hauria de ser l'autonomia.

Es volia esdevenir un producte que tingués una autonomia de 7 dies, lo aconseguit al final, es una autonomia de 2 dies, i aquest es un aspecte crític a millorar.

Altres aspectes a tindre en compte, es la falla en algun cas puntual de les dades rebudes per el RTC. Aquesta falla, no se sap si es deu a una possible mala connexió dels components, cosa que es solucionaria en el producte final, ja que al ser soldat per processos industrials, no existiria aquesta mala connexió. O si es deu a algun possible error de incompatibilitat en les funcions i llibreries utilitzades en el programa que corre sobre el micro-controlador AtMega328P.

En algun cas (com l'observat en la Fig 54) el micro-controlador es queda bloquejat, sense recollir cap tipus de dades. Aquest error es creu corresponent al propi micro-controlador, més que al software utilitzat o al connexionat, ja que per experiència, no es el primer cop que un arduino després d'hores de funcionament, s'ha quedat bloquejat.

9.3. Treballs futurs

El software que corre sobre el chip ATmega328 s'ha realitzat de forma funcional, però per a ser una primera aproximació. S'han ja definit els pins tolerants a interrupcions del chip als botons del prototip, d'aquesta forma, es podria en un futur, optimitzar el software per mitjà "d'adormir" el chip amb el mode sleep, i despertar-lo per interrupcions quan sigues necessari.

Aquesta modificació, implicaria un canvi realment gran en el consum del prototip, ja que passaria d'estar tota l'estona treballant, a treballar sols quan fos necessari (un cop cada 30 segons).

Un altre cadència d'aquest producte sobre d'altres ja existents, es la impossibilitat per a modificar el temps de mostreig. Ja que, si es possible definir-lo durant la programació, al ser embeded no pot ser modificat un cop després. Seria possible incloure algun mecanisme, com ara un potenciòmetre, que permetés regular el temps de mostreig.

S'ha tingut en compte finalment, la possibilitat de connectar el prototip a internet per a aproximar-lo tot el possible al IoT (Internet of Things). Això permetria uns canvis enormement positius, però es creu que aquest pas, degut a tot el treball i la seva complexitat, ja no seria en sí una ampliació d'aquest projecte sinó un projecte completament nou en sí.

10. Referencies bibliogràfiques

- [1] «Single-use PDF Temp Data Logger», *tzonedigital.cn*. [En línia]. Disponible a: <http://en.tzonedigital.cn/en/product/details/4.aspx>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [2] «Registrador climatològic PCE-HT 71N», *www.pce-iberica.es*. [En línia]. Disponible a: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/registrador-climatologico-pce-ht71.htm>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [3] «Logger de datos Log100 / Log110», *www.pce-iberica.es*. [En línia]. Disponible a: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/logger-datos-serie-Log.htm>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [4] «Data logger Wi-Fi de temperatura testo Saveris 2 T1 | Data loggers Wi-Fi - Registradores de datos Wi-Fi | Registro y monitorización | Tipo de producto | Instrumentos Testo S.A.», *www.testo.com*. [En línia]. Disponible a: <https://www.testo.com/es-ES/data-logger-wi-fi-testo-saveris-2-t1/p/0572-2031>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [5] Arduino, «ARDUINO UNO REV3», *store.arduino.cc*, 2018. [En línia]. Disponible a: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Accedit: 14-març-2019].
- [6] «Downloads | Adafruit Data Logger Shield | Adafruit Learning System», *www.adafruit.com*. [En línia]. Disponible a: <https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/downloads>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [7] «Amazon.com: Diymall bme280 Presión Sensor de temperatura Módulo con IIC I2 C para Arduino: Computers & Accessories», *www.amazon.com*. [En línia]. Disponible a: <https://www.amazon.com/Diymall-Pressure-Temperature-Sensor-Arduino/dp/B0118XCKTG>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [8] «MODULO DC STEP-UP 1V~5V CONVERSOR 5V 1A SALIDA USB-A/H - tiendatec.es», *www.tiendatec.es*. [En línia]. Disponible a: https://www.tiendatec.es/electronica/componentes/conversor-dc-dc/488-modulo-dc-step-up-1v5v-conversor-5v-1a-salida-usb-ah-8404880310006.html?gclid=Cj0KCQjwitPnBRCQARIsAA5n84mFpkspjUJMTKpr0979mOAxutSOaAKlvCPLTiaPIFrFJnwrtOz70LMAAt-zEALw_wcB. [Accedit: 03-juny-2019].
- [9] «tp4056 micro usb 5v 1a placa de módulo de carga de la batería de litio te585 cargador de lipo Venta - Banggood.com|Shopping España», *banggood.com*. [En línia]. Disponible a: https://es.banggood.com/TP4056-Micro-USB-5V-1A-Lithium-Battery-Charging-Module-Board-TE585-Lipo-Charger-p-1225993.html?gmcCountry=ES¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgcs&utm_content=garman&utm_campaign=pla-esg-ele-shield-. [Accedit: 03-juny-2019].

- [10] «Elegir una batería LiPo | Tienda y Tutoriales Arduino», *www.prometec.net*. [En línia]. Disponible a: <https://www.prometec.net/elegir-bateria-lipo/>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [11] «Dades de l'estació automàtica el Prat de Llobregat | Meteocat», *www.meteo.cat*. [En línia]. Disponible a: <http://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=XL>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [12] «南京拓微集成电路有限公司 NanJing Top Power ASIC Corp. TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8 DESCRIPTION», *dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net*. [En línia]. Disponible a: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [13] «DW01x Datasheet. One Cell Lithium-ion/polymer battery protection IC», *www.hmsemi.com*, 2014. [En línia]. Disponible a: www.ic-fortune.com. [Accedit: 03-juny-2019].
- [14] «LTC3426 Datasheet. 1.2MHz Step-Up DC/DC Converter in SOT-23», *www.ti.com*, 2015. [En línia]. Disponible a: <http://www.linear.com/tapeandreeel/>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [15] «Atmel 8-bit microcontrollers Datasheet», *www.adafruit.com*. [En línia]. Disponible a: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [16] «Ceramic Resonators Datasheet», *www.mouser.es*. [En línia]. Disponible a: <https://www.murata.com/>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [17] «LP2985 150-mA Low-noise Low-dropout Regulator With Shutdown Datasheet», *www.ti.com*, 2004. [En línia]. Disponible a: www.ti.com. [Accedit: 03-juny-2019].
- [18] «DS1307 64x8 Serial Real-Time Clock Datasheet», *www.sparkfun.com*. [En línia]. Disponible a: www.maxim-ic.com. [Accedit: 03-juny-2019].
- [19] B. Sensortec, «BME280 Combined humidity and pressure sensor», *www.embeddedadventures.com*, 2014. [En línia]. Disponible a: <https://www.embeddedadventures.com/datasheets/BME280.pdf>. [Accedit: 03-juny-2019].
- [20] H. Electric, «microSD™ Card Connectors DM3 Series Datasheet», *www.mouser.es*, 2018. [En línia]. Disponible a: https://www.mouser.es/datasheet/2/185/DM3_catalog-939223.pdf. [Accedit: 03-juny-2019].
- [21] «CD4049UB and CD4050 CMOS Hex Inverting Buffer and Converter Datasheet», *www.ti.com*, 2016. [En línia]. Disponible a: www.ti.com. [Accedit: 03-juny-2019].
- [22] «Arduino Hole Dimensions Drawing « Adafruit Industries – Makers, hackers, artists, designers and engineers!» [En línia]. Disponible a: <https://blog.adafruit.com/2011/02/28/arduino-hole-dimensions-drawing/>. [Accedit: 03-juny-2019].